



FINANCE ET "BUSINESS AS USUAL", Flou du signal-prix, crises d'imminence constante, et préconisation de Solow

Nicolas Bouleau

► To cite this version:

Nicolas Bouleau. FINANCE ET "BUSINESS AS USUAL", Flou du signal-prix, crises d'imminence constante, et préconisation de Solow. Institut Louis Bachelier, 2017. hal-02440708

HAL Id: hal-02440708

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02440708>

Submitted on 21 Jan 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

FINANCE ET "BUSINESS AS USUAL" ‡

Flou du signal-prix, crises d'imminence constante, et préconisation de Solow

Nicolas Bouleau

Introduction

I/ Ressources épuisables et signal-prix

A) L'idée d'intelligence disséminée, article fondamental de Friedrich Hayek

B) Le raisonnement économique pour les ressources épuisables

a) *L'approche classique de Harold Hotelling*

b) *Perfectionnements : prise en compte de l'incertitude*

c) *Denrée cotée sur les marchés financiers : conséquences de la théorie de l'arbitrage*

C) Autour du concept central de martingale positive tendant vers zéro.

a) *La famille exponentielle*

b) *Cas d'une ressource épuisable*

D) Discussion conclusive de la première partie

a) *Comment fonctionne la coordination par les prix en présence de volatilité*

b) *La mise en place historique des marchés dérivés organisés n'a-t-elle pas été accompagnée d'un malentendu ?*

Les années d'après guerre et les théorèmes d'équilibre dans l'incertain.

La révolution Black-Scholes.

On a sous-estimé l'importance de la volatilité.

II/ Crises d'imminence constante

A) Le catastrophisme

B) La catastrophe pensée économiquement

a) *Procrastination et homothétie*

b) *Psychologie du risque de défaut*

C) Conclusion de la deuxième partie : réformer l'économie du crédit ?

III/ Conclusion générale : préconisations

A) Une taxe peut-elle être un outil pour lutter contre la volatilité ?

B) Nécessité d'une information extra-financière

a) *Préconisation de Solow*

b) *Pourquoi une information péri-économique ?*

c) *Indicateurs. Solutions-exemples pour la sortie d'une ressource.*

Epilogue

Annexes

A-1. *Qu'est-ce que la volatilité ?*

A-2. *L'apparent paradoxe de la spéculabilité*

A-3. *Qu'est-ce que spéculer sur les marchés financiers organisés ?*

A-4. *Temps continu vs temps discret.*

Notes

Références

Introduction

Cette étude dégage certaines caractéristiques de la finance contemporaine qui ont tendance à maintenir les agents économiques dans une vision du progrès et de la croissance selon les formes traditionnelles, consommatrices d'énergie et de ressources épuisables, peu attentives à l'environnement.

Inutile de rappeler ici combien la transition écologique est impérieuse. Les dommages à l'environnement sont de plus en plus évidents et dessinent pour l'avenir de graves menaces. La population totale s'accroît de l'équivalent de la ville de Montpellier chaque jour, celle des mégapoles accélère. La biodiversité décline à un rythme jamais atteint dans l'histoire humaine. Et malgré cela, les rejets de gaz à effet de serre continuent ce qui acidifie les océans déjà menacés

‡ Etude publiée par l'Institut Louis Bachelier sept. 2017 avec une présentation de J.-P. Ponssard et G. Giraud.

par la surpêche, les accidents technologiques se succèdent et les espaces des écosystèmes rétrécissent.

Ainsi, comprendre le phénomène du *déni* devient une question pressante. Au delà de causes psychologiques nombreuses et diverses, individuelles et collectives, deux facteurs du *business as usual* semblent intrinsèquement liés à l'organisation de la finance de marché et avoir une grande influence sur les décisions et les comportements : d'une part le brouillard produit par la volatilité, d'autre part le schéma psychologique de base de l'économie du crédit. Nous les évoquons successivement.

Nous montrons que la thèse des manuels scolaires selon laquelle la rareté d'une ressource, en augmentant son prix, incite nécessairement les entreprises utilisatrices à rechercher des substituts, — thèse formulée par les Classiques notamment par Auguste Walras et précisée par Friedrich Hayek dans le cadre de sa théorie de la décision décentralisée — a perdu l'essentiel de sa force opérationnelle aujourd'hui à cause de l'agitation des marchés financiers.

Après un rappel des résultats classiques de Hotelling sur le prix des ressources épuisables, nous discutons la prise en compte des incertitudes dans les travaux plus récents. L'organisation des marchés financiers munis de leurs produits à terme donne aujourd'hui une importance fondamentale à la théorie mathématique de l'arbitrage. Celle-ci est en effet une description des marchés financiers d'autant plus pertinente concrètement que la spéculation est plus perfectionnée. Elle a justifié un *changement de paradigme épistémologique* par la couverture des produits dérivés par suivi de marché : le rôle de la probabilité risque neutre et la signification du théorème de Girsanov font que les prix des options n'indiquent pas les tendances. Celles-ci doivent être considérées comme subjectives, en tenir compte revient à prendre des risques là où l'on peut ne pas en prendre.

Il y a une sorte de lutte entre la volatilité et la tendance qui se voit particulièrement bien sur le modèle exponentiel. Au delà d'un certain seuil, la volatilité est capable de rabattre une dynamique de croissance relative constante vers zéro. Le concept de *martingale positive tendant vers zéro* prend ainsi une place centrale dans la représentation du prix des ressources épuisables. Nous discuterons l'interprétation économique qui peut en être donnée.

L'effacement du signal-prix se répercute dans toute l'économie de façon *top down*. Ceci interpelle les bases théoriques de la mise en place des marchés financiers. Il semble que la rationalité des marchés contingents pensés avec un nombre fini de biens et à deux dates, cadre des théorèmes de Arrow, Debreu et Radner, et celle de la théorie de l'arbitrage des marchés continus ne coïncident pas : sans être incompatibles elles ne mettent pas en évidence les mêmes phénomènes. Le passage du temps discret au temps continu fait apparaître un rôle nouveau de l'agitation qui se répercute sur la variation totale des processus considérés. Cette phénoménologie nouvelle, d'une ampleur insoupçonnée, apparaît avec la mise en place des marchés dérivés dans les années 1980.

Le problème dont nous parlons n'est pas seulement théorique, il est ancré dans la pratique elle-même des marchés financiers et on peut difficilement croire qu'il puisse être résolu seulement par des dispositifs techniques plus ou moins astucieux.

Le second obstacle à la transition environnementale est plus psychologique et concerne aussi bien les entreprises que les ménages. Il résulte de l'apprentissage par les agents de la forme la plus simple de représentation mathématique du risque de défaut. Cet apprentissage qui place au premier plan le schéma d'un taux de rendement fonction du paramètre d'une variable aléatoire exponentielle, est un schéma de pensée rudimentaire mais important parce que premier : il est aussi bien le discours de la banque à l'épargnant "moins le placement est risqué moins fort est le rendement" que la première signification des notes attribuées par les agences de notations.

Or ce schéma de base a des propriétés très particulières en matière de risque : il induit à penser que le fait que la catastrophe — la faillite, l'accident, le dommage naturel — ne s'est pas

produite jusqu'à maintenant ne change rien quant au temps qu'il faut encore attendre son échéance future.

En comparant cette "philosophie" à d'autres approches sociologiques des risques, on voit qu'elle incite à considérer que les alertes ne modifient en rien les positions décisionnelles financières. Si on place mentalement la planète dans la théorie des pannes des dispositifs matériels, cela revient à penser l'environnement comme un phénomène *sans vieillissement*. Ce qui est une autre façon de dire que la logique économique du crédit ne voit pas globalement le long terme.

Devant ce diagnostic nous examinons les pistes qui viennent à l'esprit et en premier lieu l'idée de taxe sur les transactions financières. Celle-ci est intellectuellement très "naturelle" puisqu'elle revient à faire payer les spéculateurs lors de leurs spéculations. Indépendamment de la question politique de l'usage des ressources ainsi créées et des complications de mise en place notamment pour la gestion des produits dérivés, il n'y a pas d'argument crédible que cela puisse avoir un effet sur la volatilité susceptible de faire réapparaître le signal-prix, ceci même avec des formes non standard de taxe. De plus, l'action de spéculer est en fait diffuse dans l'activité économique et ne se limite pas aux transactions bancaires sur les marchés ou de gré à gré.

Curieusement, dès 1974, deux ans après le premier rapport du Club de Rome, Robert Solow dans une célèbre conférence qui portait sur la rationalité économique vis-à-vis des ressources non renouvelables, concluait son analyse par cette affirmation – importante dans la bouche d'un économiste qu'on ne peut certainement pas qualifier d'hétérodoxe – qu'en matière de ressources non renouvelables il n'y avait pas de solution strictement interne à la logique de marché et qu'il fallait impérativement faire opérer une instance collective extra-économique pour fournir l'information que ne donnaient pas les marchés sur le long terme.¹

Ceci se passait à peu près en même temps que les articles fondateurs de Arrow, de Radner et de Debreu mais avant qu'on organise les marchés sur toutes les places financières en tenant compte de la révolution que fut l'article de Black-Scholes. Nous voyons que le problème de l'effacement du signal-prix sur les marchés financiers à cause de la volatilité vient absolument aggraver le diagnostic de Solow et donner une importance renouvelée à la solution extra-économique qu'il préconisait. Nous évoquerons comment la rendre opératoire.

Remarque méthodologique. Le Sénat français vient de rendre public un *Rapport d'information*² sur la finance, très critique sur les marchés financiers et leur rôle dans l'économie. Ce texte est assez typique. Sur la base d'observations tout à fait justes sur les crises et les difficultés de toutes sortes de l'économie mondiale et française en particulier, il fait remonter les critiques vers les marchés financiers en collectant diverses citations et en reprenant des analyses qui projettent sur le fonctionnement des marchés des visions schématiques. Ceci crée une situation chargée d'ambiguïtés où se mêlent d'excellentes remarques de nature politique et de faibles arguments techniques. Cette façon de vulgariser risque de conforter chez le public des visions radicales qui ne pourront être entendues par les spécialistes.

La finance est maintenant un domaine de haute technicité. Est-ce qu'on écouterait une critique de la mécanique quantique fondée sur une intuition de "bon sens" ? Dans l'étude qui suit nous procédons exactement dans l'autre direction. En nous appuyant sur la finance pensée comme discipline de pointe avec toute sa technicité, nous dégageons des conséquences sur les limites des ambitions économiques qu'on peut lui accorder.

I/ Ressources épuisables et signal-prix

La question des ressources non renouvelables apparaît aujourd'hui comme une énigme. En témoigne une immense littérature économique aux points de vue très dispersés. La difficulté centrale tourne autour de l'absence d'information financière en matière de rareté, assez claire pour agir. On a l'impression d'une sorte de brouhaha de la science économique sur la gestion des stocks de métaux, d'énergie fossile et autres matières premières limitées.

Les économistes classiques, sans mathématiques et par pure spéculation philosophique, avaient déjà clairement établi le rôle de la rareté et des besoins ainsi que le sens de leurs influences dans l'établissement des prix des denrées, même si les définitions exactes de ces notions faisaient l'objet de controverses (A. Smith, D. Ricardo, J.-B. Say, Auguste Walras, etc.). C'est cependant avec les néoclassiques, et en particulier A. Cournot, J. Dupuit et Léon Walras que des équations furent proposées qui s'inspiraient largement de la mécanique et plus particulièrement des équilibres de la statique ainsi que L. Walras et St. Jevons le disent explicitement.³ Le rôle du temps quant à lui et la représentation des chemins vers l'éventuel équilibre sont beaucoup plus délicats, l'idée des "tâtonnements" de L. Walras ne sera approfondie et précisée qu'au 20^{ème} siècle et reste encore discutée dans le cadre de l'économie de "second rang".

Le 20^{ème} siècle est aussi celui où le libéralisme des Smith, des Say, des Walras est fortement remis en cause comme vision du bien-être collectif, non seulement sous l'angle politique mais par certains économistes. Dès 1931 Harold Hotelling, dans le fameux article sur les ressources non renouvelables, sur lequel nous allons revenir, se place du point de vue des *générations futures* :

Le constat de la disparition mondiale des ressources en minéraux, forêts et autres biens épuisables a suscité des demandes pour réguler leur exploitation. Le sentiment que ces denrées sont actuellement trop bon marché pour le bien des générations futures, qu'elles sont exploitées égoïstement à un rythme trop rapide, et qu'en conséquence de leur prix trop bas elles sont produites et consommées avec gaspillage a fait naître le mouvement de protection des réserves naturelles.⁴

Puis, en pleine opposition des deux blocs, Friedrich Hayek en 1945, sent la nécessité de prendre la défense du libéralisme, et le fait par un argument très fort, fondé précisément sur la façon d'appréhender les changements dans le fonctionnement de l'économie.

A) L'idée d'intelligence disséminée, article fondamental de Friedrich Hayek

Dans un remarquable article, justement célèbre, Friedrich Hayek critique l'idée même de planification centralisée : "Le problème économique de la société n'est pas simplement la question de savoir comment répartir les ressources 'données', si par 'données' on entend données à un esprit unique qui résout délibérément le problème posé par ces 'données'. Il s'agit plutôt du problème de savoir comment s'assurer de la meilleure utilisation des ressources connues à l'un quelconque des membres de la société, à des fins dont ces membres particuliers connaissent l'importance relative. Ou pour le dire brièvement, c'est un problème d'utilisation de connaissances qui ne sont données à personne en totalité."⁵

Il souligne que les décisions économiques interviennent lorsqu'il y a à gérer des *changements* "Il vaut la peine, peut-être, de souligner que les problèmes économiques arrivent toujours et uniquement comme conséquence d'un changement" et il insiste sur le fait que le talent de l'industriel est précisément de savoir se comporter lors de changements. "Dans une industrie concurrentielle en tout cas — et une telle industrie peut déjà servir de test — la tâche de maintenir les coûts contre les hausses nécessite une lutte permanente, absorbant une grande part de l'énergie de l'entrepreneur" et ce sont les circonstances locales et facteurs idiosyncratiques qui font que ces savoirs locaux ne peuvent être résumés par des statistiques générales (p524).

"Si nous nous accordons sur le fait que le problème économique de la société est principalement une adaptation rapide aux changements dans les circonstances particulières de temps et de lieu, il semble donc que les décisions finales doivent être laissées aux gens qui sont familiers avec ces circonstances, qui connaissent directement les changements pertinents et les ressources immédiatement disponibles pour y répondre." Pour cela le manager, en plus des savoirs locaux qu'il a par lui-même, a besoin de raccorder ses décisions au contexte, d'une connexion avec l'extérieur et c'est ce qui lui est fourni par *le système des prix*.

L'organisation économique pour être efficace, au sens de pouvoir faire fonctionner toutes les ressources de connaissance, doit être fondée sur un système de prix. Plus précisément si nous analysons l'argumentation, ce sont *les changements de prix* qui sont les signaux absolument précieux dans cette coordination. "Supposons que quelque part dans le monde une nouvelle opportunité d'utilisation de certaines matières premières, par exemple l'étain, soit apparue, ou que l'une des sources d'approvisionnement de l'étain ait été éliminée. Il est sans importance pour notre propos — et c'est très significatif que ce soit sans importance — que ce soit l'une ou l'autre de ces deux causes qui a rendu l'étain plus rare. Tout ce que les utilisateurs d'étain ont besoin de savoir, c'est qu'une partie de l'étain qu'ils avaient l'habitude d'utiliser a désormais un emploi plus rentable ailleurs, et qu'en conséquence ils doivent économiser l'étain." *La variation* du prix de l'étain va se propager chez tous les utilisateurs et aussi sur les produits de substitution de l'étain.

"C'est plus qu'une métaphore de décrire le système de prix comme une sorte de machinerie pour l'enregistrement des changements, ou un système de télécommunication qui permet aux producteurs individuels de regarder simplement le mouvement de quelques indicateurs, comme un ingénieur peut regarder les aiguilles de quelques cadrans, afin d'adapter leurs actions aux changements dont ils ne peuvent jamais savoir que ce que reflète le mouvement des prix."

La force de cet article réside dans le rôle accordé à l'intelligence et aux savoirs spécifiques des acteurs dans leur comportement économique, il est le plus beau plaidoyer pour *l'importance du signal-prix*.

Le bien fondé de cette analyse fut démontré, a contrario, par les difficultés qu'ont rencontrées les divers ministères de l'administration soviétique pour se coordonner entre eux.

Cette rationalité fondée sur l'importance du signal-prix étant rappelée, voyons comment l'économie néoclassique traite des ressources non renouvelables.

B) Le raisonnement économique pour les ressources épuisables

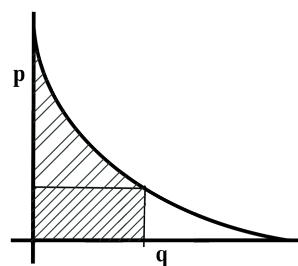
Si le propriétaire d'une carrière de minerai ayant suffisamment d'influence sur le marché, freine sa production, il contribue à faire monter les prix et donne de ce fait plus de valeur à ses réserves non encore exploitées. Seulement cette plus value est pour lui repoussée dans l'avenir et il n'est pas certain qu'il n'aurait pas mieux fait de vendre davantage et de placer son profit au taux de rendement en vigueur. C'est cette dialectique que Hotelling traite mathématiquement dans un article fondateur. Puis les travaux plus récents se sont attachés à affaiblir les hypothèses.

a) L'approche classique de Harold Hotelling

Harold Hotelling considère une denrée irremplaçable c'est-à-dire sans produit de substitution et suppose que chaque exploitant maximise la valeur actualisée de tout son profit futur, l'actualisation se faisant à un taux constant, fixe. Il traite alors la question sous deux hypothèses économiques successivement.⁶

Il considère d'abord le cas de "libre compétition" entre producteurs où la concurrence entre les producteurs dans le marché de la denrée fait que le profit des consommateurs (ou "l'utilité totale" ou la "valeur sociale de la ressource" encore appelée *gross consumer surplus*) est maximal. Si la fonction de demande est $p(q)$, la quantité maximisée est $\int_0^\infty e^{-rt} \int_0^q p(\lambda) d\lambda dt$. Dans ce cas le prix obtenu croît exponentiellement avec le temps suivant un exposant qui est le taux d'intérêt supposé fixe. C'est ce que l'on appelle la "loi de Hotelling" ou "golden rule".

D'autre part il étudie le cas d'un monopole. Là le producteur maximise son profit. La quantité à maximiser est $\int_0^\infty e^{-rt} qp(q) dq dt$. Le prix optimal est alors conséquence de la courbe de demande.



Dans chacune de ces deux hypothèses Hotelling traite également le cas où la fonction prix $p(q,x,t)$ dépend de la quantité produite, de la production cumulée jusqu'à l'instant présent x et du temps.

Le raisonnement est *une belle application du calcul des variations* tel que Euler en découvrit les bases essentielles à la fin du XVIII^e siècle. Son élégance contribue au prestige épistémologique de cette modélisation⁷. Des changements mineurs étendraient le raisonnement au cas d'un taux déterministe variable, et de nombreux auteurs ont perfectionné le raisonnement à diverses situations plus complexes.

Remarque 1.

Dans le cas de la concurrence parfaite, selon l'approche de Hotelling, la golden rule revient à dire qu'on ne voit pas sur le prix la rareté croissante de la ressource. Hotelling, ainsi que d'autres auteurs, souligne le problème d'équité intergénérationnelle que pose cette consommation rapide. Notons que ce régime ne saurait se terminer comme ça, à un instant t . Une zone de turbulence intervient nécessairement lorsqu'on approche de l'épuisement de la ressource où les conditions d'offre et de demande se modifient. De toute façon ce cas idéal n'est jamais parfaitement réalisé. Dans les autres cas qui correspondent mieux à la réalité (monopole ou oligopole) le signal-prix garde son efficacité pour les utilisateurs. Les courbes de Hotelling sont déterministes et régulières. L'idéal de la coordination par les prix défendu par Hayek est apparemment possible.

A ce stade — après ces contributions de Hotelling et de Hayek, disons durant les années d'après guerre 1950-60 — la question se pose donc de la façon suivante : le signal-prix est essentiel pour le bon fonctionnement de l'économie, est-ce que l'on se trouve pour le pétrole, pour chaque minéral, dans la situation où la rareté se voit par l'évolution du prix ou bien dans la situation de la *golden rule* où la rareté de la ressource n'est pas visible, ce dernier cas posant plusieurs problèmes, a) pour les changements des entreprises vers des biens ou des procédés de substitution, b) parce qu'un tel régime ne peut se terminer en douceur.

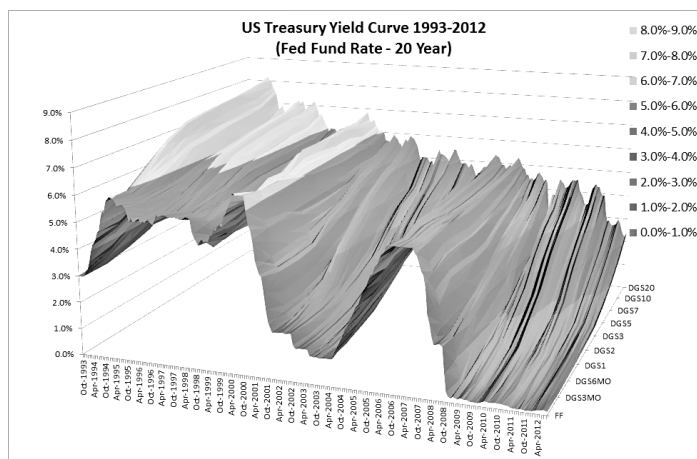
Cependant la généralisation des marchés financiers organisés avec leurs produits à terme, qui est la rupture des années 1970, va modifier le paysage.

Remarque 2.

Dans ce cas de libre concurrence, Hotelling n'indique pas par quel mécanisme le prix peut balayer la totalité de son intervalle de variation sous la courbe $p(q)$ pour faire en sorte que les consommateurs prêts à payer plus cher soient séparés des autres. Dit autrement, comment est connue la fonction $p(q)$? Cette façon de prendre le problème est différente de ce qui se passe actuellement sur les marchés organisés où un seul prix instantané est disponible pour tous.

Remarque 3.

Quoique la méthodologie mathématique de Hotelling soit assez élaborée, cette modélisation est évidemment radicalement plus simple que ce que nous observons aujourd'hui sur le cours du brut ou des métaux. D'une part parce que le producteur peut vendre à terme, d'autre part parce que le taux dépend de la date de début et de fin de période et se présente donc comme une surface $r(s,t)$, mais surtout parce que cette surface est aléatoire (*yield curve* et *term structure*).



Plus généralement, l'avenir est, pour les agents, plein d'incertitudes ce qui modifie le raisonnement, et le complexifie, notamment, comme souvent, à cause de la divergence entre les raisonnements presque sûrs et en espérance dans les phénomènes non linéaires.

b) *Perfectionnements : prise en compte de l'incertitude*

En appliquant le calcul des variations pour optimiser des fonctionnelles sur toute la durée de l'exploitation et sur toute la quantité extraite, Hotelling — compte tenu de ce que nous venons de dire sur les taux — suppose un modélisateur qui simplifie la réalité plus que ne peuvent le faire les agents, et en particulier l'exploitant qui ignore le volume exact de la ressource dont il dispose. Il est donc naturel d'étendre la modélisation à un cadre probabiliste. Ceci peut se faire de multiple façons : par une optimisation du type Hamilton-Jacobi-Bellman, par des raisonnements infinitésimaux où intervient la différentielle d'Ito, voire en ayant recours au calcul des variations stochastiques, etc.

Quoi qu'il en soit, on se trouve avec beaucoup plus d'objets mathématiques (paramètres, lois de probabilités) à caler comme hypothèse que n'en avait Hotelling. Ce choix est si vaste que se pose vraiment un problème de sensibilité théorie-calibration dans les deux sens : a) il est très difficile de connaître ce que des changements dans les lois des processus aléatoires entraînent sur les quantités calculées sauf à prendre un cadre mathématique très spécifique⁸ b) quand bien même les observations disponibles sont compatibles avec la modélisation faite qu'on a fortement le sentiment que d'autres modèles pourraient les épouser aussi bien.

D'autant plus que, pour ce qui est des matières premières tirées du sol, les incertitudes sont si grandes — et les connaissances si mal réparties entre les agents — qu'aucune loi de probabilité n'a la moindre justification solide. La démarche de la plupart des auteurs consiste néanmoins à construire un modèle probabiliste qui reprend la charpente de l'argumentation de Hotelling pour tenter d'expliquer pourquoi les cours observés ne suivent pas la golden rule.

Après le premier choc pétrolier des modèles plus fins ont été développés tenant compte de stratégies de cartel. Sur la question de savoir si les produits dérivés, et plus généralement la spéculation, augmentent ou diminuent la volatilité du prix, les avis sont, depuis longtemps partagés.⁹ Le rapport de Margaret Slade pour la Banque Mondiale publié l'année du *Sommet de la Terre* de Rio marque une étape dans la prise de conscience de difficultés d'un registre nouveau en économie (Slade 1992). L'objectif de sa réflexion est énoncé comme un avertissement pointant un grave problème : "vérifier si les marchés réels donnent un signal approprié de la rareté et si les conditions nécessaires d'une allocation de ressources efficace sont rencontrées en pratique."¹⁰ Pour cela comparer un indice des industries extractives et l'indice pour l'industrie en général. Discutant les indicateurs de rareté, et en premier lieu le prix relatif de la ressource et son évolution, théoriquement et dans les faits observés, elle conclut à l'absence de tendance claire.¹¹ Elle note que sur un siècle le prix de la plupart des matières première décroît et qu'il y a donc nécessité de revoir le modèle économique de base et en particulier le modèle de Hotelling, mal confirmé expérimentalement. Elle souligne qu'en vérité l'état du stock n'est pas bien connu a priori, les prix peuvent baisser par les perfectionnements de la prospection et de l'exploitation, et par des substituts nouveaux à ces matières premières. Mais surtout elle montre qu'il est indispensable d'introduire l'incertitude et de penser le problème en termes stochastiques, le prix actualisé étant représenté par une martingale ainsi qu'avancé par Deshmukh et Pliska (1985)¹². Dès 1979 V. K. Smith, par une étude de la stabilité d'estimateurs de la relation prix-tendance, avait conclu que les données étaient trop volatiles pour porter des conclusions définitives.¹³ M. Slade (1991) avait constaté que la volatilité a été en augmentant et voit "*little evidence of a sustained trend*".¹⁴ Elle étudie trois cas : le cas Hotelling classique (taux positif, volatilité nulle), le cas Hotelling stochastique où l'espérance du prix actualisé suit le taux (taux positif et volatilité positive), et le cas d'un marché efficient le prix étant une martingale (taux nul et volatilité positive). Elle conclut que ce dernier cas est le mieux vérifié par l'expérience sans pouvoir réellement apporter une validation quantitative.¹⁵

A partir de ce point d'étape de M. Slade de 1992 la littérature sur les ressources non renouvelables et sur le pétrole devient très abondante et dispersée, au point que toutes les trajectoires passées peuvent trouver des rationalisations ex post. Les économistes tendent à les voir

comme des histoires élémentaires complémentaires pour parler du monde. La question de l'efficacité globale de ces histoires élémentaires complémentaires reste ouverte.

Aussi mettrons nous l'accent sur une autre approche qui donne un éclairage épistémologique plus clair sur les limites de l'information donnée par les marchés aux acteurs économiques. Elle est fondée sur l'idée que la théorie mathématique de l'arbitrage est une description des marchés financiers organisés d'autant meilleure que la spéculation est plus perfectionnée. Cette théorie est conçue et logiquement structurée pour cela, en ce sens qu'elle donne le type asymptotique de situation vers lequel tend le marché par le jeu des processus successifs de découverte d'un arbitrage profitable suivi de son effacement par divulgation. Aujourd'hui, avec l'intelligence artificielle et les big data, la spéculation peut traiter à la fois la haute fréquence et les interprétations sur le moyen et long terme (Wang Zheng 2014)¹⁶. Ainsi la théorie de l'arbitrage est devenue une excellente description des marchés et ses conséquences ne doivent plus être considérées comme purement théoriques, au contraire elles indiquent de mieux en mieux les limites épistémiques de la notion de marché organisé. Admettant que le prix d'une denrée non renouvelable est une semi-martingale à laquelle s'applique la théorie stochastique de l'arbitrage¹⁷, nous pouvons, sans chercher de résultats quantitatifs, tirer des conséquences de ce que la volatilité du prix reflète l'incertitude qui s'exprime aussi par le coût des options.

c) Denrée cotée sur les marchés financiers : conséquences de la théorie de l'arbitrage

Beaucoup d'auteurs tentent de dégager une tendance sur le cours du prix d'une denrée épuisable et cherchent à la justifier par une rationalité explicative. Ceci les conduit à raisonner par période et à envisager une tendance aléatoire (stochastic trend) en tant que processus plus régulier que le cours spot lui-même.¹⁸

Cette optique peut être critiquée à plusieurs titres : Primo sa méthodologie reste scientifiquement peu convaincante ne serait-ce que par la difficulté de déterminer un processus aléatoire à partir d'une seule de ses trajectoires sur une période de temps limitée. Secundo elle raisonne comme si le cours était objectivement un processus à variation finie auquel la volatilité superposait une agitation de type martingale et que l'analyse des faits économiques significatifs pouvait permettre de dégager une rationalité explicative des mouvements de ce processus à variation finie sous-jacent. Mais si cette démarche pouvait fournir autre chose que des commentaires interprétatifs du passé, et renseigner sur la tendance actuelle du marché – de façon objective – cette tendance serait immédiatement prise en compte et disparaîtrait des écrans. De sorte qu'une telle tendance ne peut être que subjective. Or la théorie de l'arbitrage nous dit que prendre en compte une tendance fait prendre des risques là où il était possible de ne pas en prendre. Ces auteurs s'éloignent donc d'un objectif scientifique.

C) Autour du concept central de martingale positive tendant vers zéro.

Pour toute évolution (croissance, décroissance, convergence) il y a lieu de préciser si on raisonne en loi, en moyenne, ou trajectoire par trajectoire.

Les raisonnements "en loi" et "en moyenne" (moyenne quadratique ou dans les espaces de p -ième puissance sommable) ainsi que les arguments "en probabilité", font intervenir les compensations que le calcul des probabilités permet de faire entre les événements où il y a augmentation et ceux où il y a diminution. Les évolutions ainsi décrites sont en général assez régulières parce que les causes qui attribuent certaines probabilités à certains phénomènes ont souvent une certaine permanence.

Mais on est aussi intéressé à ce qui va se passer pour chaque trajectoire que le hasard dessine, car c'est une de ces trajectoires qui va se produire effectivement. Et le comportement des trajectoires peut être très différent de ce que la dynamique donne comme image lorsqu'elle est appréhendée en loi ou en moyenne.

Ce qui se passe sur les marchés financiers montre comment l'incertitude et l'ignorance des agents sur ce qui va se passer dans l'avenir se traduit par de l'agitation de la grandeur sur laquelle

ils agissent. Lorsque l'évolution d'une devise ou d'une action est incertaine — et que donc les agents économiques ne sont pas d'accord sur son évolution vraisemblable — la grandeur ne prend pas une trajectoire intermédiaire qui représenterait une sorte de barycentre des avis, elle s'agite, et s'agite d'autant plus que l'incertitude est grande. Cette agitation, la volatilité, peut être considérée comme la mesure la plus objective de l'incertitude qui affecte le prix instantané de la grandeur économique concernée.

a) La famille exponentielle

L'économie pense souvent comme un régime stationnaire les phénomènes à croissance relative constante et c'est cette vision qui fut critiquée par le Club de Rome dans les années 1970. Ce sont des grandeurs dont la vitesse est proportionnelle à la valeur actuellement atteinte avec un coefficient positif.

$$dX = AX dt$$

Dans le cas de plusieurs grandeurs cela s'écrit matriciellement et fait intervenir les signes des valeurs propres permettant de dire quelles sont les combinaisons linéaires qui vont s'évanouir et celles qui vont exploser. Cette croissance exponentielle ne peut durer et se trouvera nécessairement contrecarrée par un phénomène dont le rôle de frein va s'amplifier progressivement. D'où l'apparition d'un terme supplémentaire dans l'équation conduisant dans le cas le plus simple à une équation logistique ou apparentée, engendrant une saturation et dans le cas des modèles du Club de Rome un phénomène d'effondrement (collapse).

Un point phénoménologique fondamental est que ceci est complètement modifié dans le cas où la grandeur présente de l'aléa. Si une grandeur suivant une dynamique exponentielle est soumise à un aléa constant relativement à la grandeur, deux cas peuvent se produire.

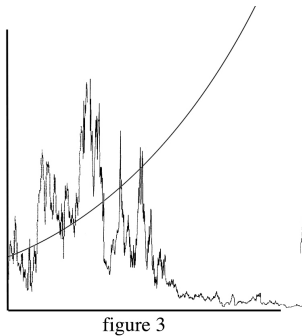


figure 3

$$dX = AX dt + \sigma X dB$$

Si l'aléa est faible l'allure générale de la trajectoire sera ce qu'on attend : elle va suivre la courbe exponentielle avec des fluctuations vers le haut et vers le bas qui vont aller en s'amplifiant, c'est le cas illustré par la figure 2. Mais si l'aléa dépasse un certain seuil, $\sigma^2 > 2A$, le comportement des trajectoires est différent de ce qu'on attend intuitivement : elles finiront toutes après des oscillations par tendre vers zéro, c'est le cas de la figure 3.¹⁹

Le phénomène de convergence vers zéro est bien connu dans le cas des martingales qui sont des processus d'espérance mathématique constante. Il existe des martingales positives dont toutes les trajectoires tendent vers zéro. L'exemple le plus simple est celui de l'exponentielle brownienne.

$$e^{\sigma B_t - \frac{1}{2}\sigma^2 t}$$

Dans ce cas l'étude du phénomène "en loi" ou "en moyenne quadratique" ne donne pas ce qui va se passer en vérité. Et de tels cas sont extrêmement courants dans les grandeurs économiques.²⁰

Ceci est très général, on peut énoncer

Proposition. Soit une semi-martingale positive solution de $dX_t = X_t \sigma_t dB_t + X_t a_t dt$ où les processus σ_t^2 et a_t sont intégrables de sorte que

$$X_t = X_0 \exp \left[\int_0^t \sigma_s dB_s - \frac{1}{2} \int_0^t \sigma_s^2 ds + \int_0^t a_s ds \right]$$

alors si $\int_0^\infty \sigma_s^2 ds < +\infty$ presque sûrement et si il existe $\alpha > 0$ tel que $\sigma_t^2 > 2a_t + \alpha$, le processus X_t tend vers zéro presque sûrement lorsque t augmente indéfiniment.

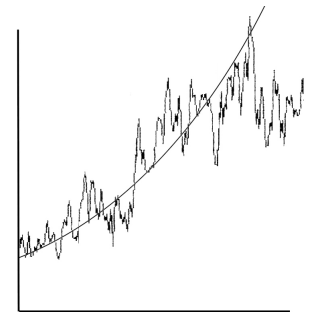


figure 2

Ce résultat découle d'une généralisation de la loi des grands nombres (cf. par exemple Nguyen-Pham 1982).

Le point concrètement le plus significatif de cette phénoménologie, est que dans le cas où il y a de l'aléa, et que celui-ci dépasse le seuil dont nous avons parlé ($\sigma^2 > 2A$), *il est impossible au vu de la trajectoire de mesurer ce qu'aurait été celle-ci sans l'aléa*. Autrement dit la dynamique exponentielle ne se voit pas sur ce qui est objectivement observable. Donc une observation telle que celle de la figure 4 ne permet pas de déceler une éventuelle dynamique exponentielle sous-jacente. La méthode du maximum de vraisemblance appliquée grâce au théorème de Girsanov ne fournit rien de précis.

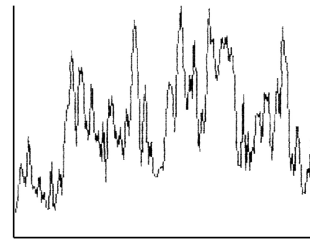


Figure 4

b) Cas d'une ressource épuisable

Trois phases peuvent être interprétées :

1. Durant une première période on a une évolution suivant une dynamique de croissance relative constante perturbée par une faible volatilité, les découvertes et les tarissements de gisement se compensent plus ou moins en ajoutant des à-coups qui augmentent la volatilité spéculative ordinaire.

Evidemment cette première phase peut présenter des variations macroscopiques dues à des événements particuliers de la relation producteurs-consommateurs tels que la nouvelle politique de l'Opep en 1973 ou la crise des subprimes en 2008.

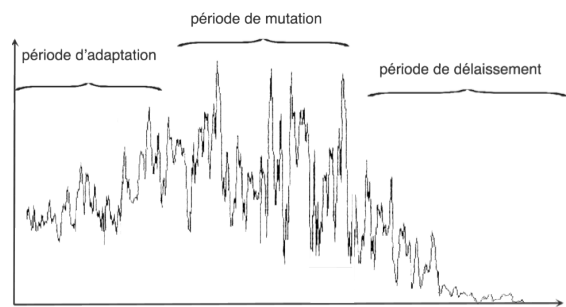
2. Puis progressivement les incertitudes augmentent. Les découvertes éventuelles ainsi que les méthodes d'exploitations reposent sur des technologies hypothétiques, la prospection de gisements nouveaux créent des incertitudes sur les droits de propriété, les annonces de potentialités technologiques non encore confirmées, les échecs d'autres, instaurent une phase de *surinterprétation* aux aguets qui augmente la volatilité des cours ainsi que les amplitudes de variation. Pour certains consommateurs, le besoin désespéré de s'approvisionner pour continuer à utiliser des installations existantes crée une demande accrue pendant qu'au contraire les agents économiques non captifs de cette ressource s'échappent de ce marché.

Plus la prospection est difficile plus la part des prix traduisant les incertitudes est importante dans l'évaluation des coûts de prospection et d'exploitation eux-mêmes, ce qui engendre une volatilité auto-réalisatrice.²¹

3. La fin du processus peut prendre diverses formes suivant les circonstances et le type de ressource. Plaçons nous dans le cas d'une ressource énergétique. Le régime de forte volatilité a la propriété de ne pas annoncer sa date terminale, la fin est toujours une crise. L'amplitude de l'agitation peut rendre difficile le rôle des organismes de marché et la cotation peut cesser comme cela s'est produit sur le Chicago Climate Exchange. L'évaluation des risques évolue, la multiplication des valeurs échouées (*stranded assets*) telles que les pavillons de lointaine banlieue, les industries fortement consommatrices d'énergie (cimenteries, céramiques), font que la transition est perçue comme irréversible et un basculement s'opère. A la longue, la ressource ayant perdu ses usages classiques la demande s'en détourne vers toutes les denrées de substitution exception faite de certains usages très spécifiques. C'est la phase d'effondrement.²²

Remarque 4.

Dans les phases 1 et 2 la volatilité augmente. Nous nous trouvons dans cette situation pour beaucoup de ressources épuisables. C'est un des cas où des moyennes faites sur l'historique du cours peuvent donner l'impression qu'une tendance est révélée par la trajectoire passée, sans que pour autant elle soit claire sur la trajectoire future. On a l'impression que la théorie de l'arbitrage



était fausse lorsqu'on regarde vers le passé, on croit qu'on aurait pu spéculer sans risque avec profit, mais on est incapable de le faire pour l'avenir, ce qui est la question pertinente.

Remarque 5.

Dans la période de forte volatilité, aucune tendance n'est décelable ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus, la rareté n'est pas perceptible sur le prix. Néanmoins toutes les parties prenantes savent que la denrée est épuisable. C'est ce qui se passe actuellement pour le pétrole. Une indication vague que les marchés fournissent quant à la rareté est l'augmentation de volatilité. Il n'est pas clair cependant que celle-ci puisse être lue avec précision sur le prix des dérivés car ceux-ci sont aussi très agités.

Remarque 6.

Pour les ordres de grandeurs, la volatilité a été beaucoup plus haute à partir des années 1970 (Gerlach et al.)²³. Les années 1970 sont à la fois celles de la mise en place internationale des marchés dérivés, celles du premier rapport du Club de Rome alertant sur l'épuisement des ressources fossiles et le début d'une forte volatilité. Coïncidence n'est pas causalité. On peut simplement dire que les produits dérivés n'ont pas empêché cette forte volatilité. Aujourd'hui une volatilité de 25% à 30% n'est pas exceptionnelle²⁴. En ce qui concerne le pétrole, d'après une étude d'août 2013 de Total²⁵, la volatilité moyenne du prix du Brent était de 30% sur la période 1998-2007 avant l'envolée du prix préalable à la crise des subprimes et le pic de mi-2008. Dans la période récente on note une augmentation lente des échanges de contrats à terme sur le brut jusqu'à 2005 suivie d'une véritable explosion qui les porte à un niveau quatre fois supérieur en quelques années. Le gaz quant à lui a des pics de volatilité qui ne correspondent pas à ceux du pétrole, et sa volatilité est plus grande : de l'ordre de 50% pour le Henry Hub et le NBP sur la période 2000-2013.

Remarque 7. Bulles de volatilité

Le concept de bulle, en tant que solution économique fondée sur une condition aux limites future erronée, n'a vraiment d'objectivité que *ex-post*. Néanmoins elle éclaire sur certains comportements qui peuvent influencer le marché.²⁶

La volatilité constatée sur le cours engendre de la perplexité et attise la volatilité (phase 2). L'existence de "bulles de volatilité" a été étudiée techniquement par P. J. Schönbucher.²⁷ Je pense que se surajoute à ces technicités des "bulles sémantiques" qui augmentent l'incertitude : lorsque la volatilité devient significative le lien du cours spot avec ce qui se passe en matière de production et d'échanges de pétrole devient flou, le sens du mot *Brent* se met à flotter. La réalité de marché porte sur ce que les banques ont de *Brent* et non plus sur ce qui se passe pour le prix de cargaisons et de leurs assurances.

D) Discussion conclusive de la première partie

Nous avons vu que la rationalité qui s'attache aux marchés spéculatifs de ne pouvoir permettre un profit sans risque implique de facto une agitation qui est la seule solution à l'existence d'un marché où la spéculation empêche que les tendances soient objectivement connaissables. Et nous avons décrit des situations de ressources épuisables où l'inquiétude génère de telles volatilités que des effondrements peuvent se produire.

Néanmoins il est encore enseigné dans les manuels que "les prix sont de loin les signaux les plus importants dans une économie de marché, dans la mesure où ils transmettent des informations essentielles sur les coûts et les dispositions à payer des autres personnes"²⁸. Toute la question est de savoir s'il s'agit d'une vérité observée ou du désir d'une économie idéale ? Souvenons-nous de la phrase de Léon Walras : "M. P[areto] croit que le but de la science est de se rapprocher de plus en plus de la réalité par des approximations successives. Et moi je crois que le but final de la science est de rapprocher la réalité d'un certain idéal ; et c'est pourquoi je formule cet idéal."²⁹

Revenons, dans ces conditions, à l'intelligence distribuée par les prix chère à Hayek.

a) *Comment fonctionne la coordination par les prix en présence de volatilité*

Le plaidoyer de Hayek contre la planification centralisée, que nous avons rappelé plus haut, est fondé sur la thèse que les agents, industriels, commerçants, consommateurs, ont une bonne connaissance du milieu dans lequel ils opèrent et que ce savoir pratique ne peut être synthétisé par une intelligence supérieure et globale. En revanche il leur suffit de disposer des prix et de leurs tendances pour que les adaptations aux changements qu'ils décident soient pertinentes.

Il y a dans cette conception l'idée d'une cohérence par simple contagion par les transactions de proche en proche dont la spontanéité n'est pas complètement évidente. Si les interactions des agents sont locales ou selon de longues chaînes de procédés d'élaboration technique, les fluctuations initiées par une anticipation peuvent être amplifiées, et donner un régime périodique ou chaotique, éventuellement instable. De façon similaire, la tendance des entreprises à fusionner pour éviter les coûts de transaction est limitée par les difficultés de coordination internes à l'entreprise.

Une façon de rendre opératoire l'idée de Hayek est de constituer un "marché de référence" qui fonctionne entre une variété suffisante d'agents et auquel tous les autres peuvent se référer par des moyens de communication directs. C'est très différent d'une économie planifiée, mais on a de nouveau une référence centralisée. Remarquons que pour les marchés dont chaque transaction se traduit socialement par une décision qui s'inscrit dans la durée et des circonstances idiosyncratiques — comme le marché du travail par une décision d'embauche, ou de l'immobilier par un acte notarié — la réalisation d'une telle référence de prix est difficile et a fait l'objet de dispositifs divers comme la bourse du travail qui fonctionnait avec des accords par "métiers", etc. Ces marchés sont faiblement spéculatifs en ce sens que les transactions ne peuvent être faites et défaites instantanément. En revanche sur les matières premières minérales et agricoles, les actions, et sur les devises, une quantité standard peut être définie et des marchés "idéaux" ont été facilement organisés qui servent de référence mondiale. Ce sont des marchés fortement spéculatifs où pratiquement toute stratégie spéculative peut être appliquée.

La question qui se pose dès lors est celle de l'impact de la volatilité du marché de référence sur la coordination et sur la pertinence des décisions des agents. Comme Hayek l'avait souligné la coordination a pour rôle de susciter de bonnes réactions aux changements. Notons que de tels changements sont visibles localement sur les marchés faiblement spéculatifs comme celui du travail ou de l'immobilier par consultation des séries temporelles locales. En revanche ce n'est plus le cas pour la coordination par les marchés financiers. Considérons un agriculteur devant des choix d'investissements pour les années à venir soit de plantation d'arbres fruitiers, soit d'équipement en matériel mécanisé, soit d'augmentation ou de diminution de son cheptel, soit de construction de bâtiments spécialisés. Les prix des céréales lui sont imposés par les grossistes qui se réfèrent aux prix des cargos qui sont tirés de ceux des marchés financiers. Aussi bien les incertitudes sont telles qu'il est fortement incité à ne pas se lancer dans de nouvelles pratiques. D'autant plus, dans ce cas, que les aléas climatiques et météorologiques ont toute chance d'augmenter.

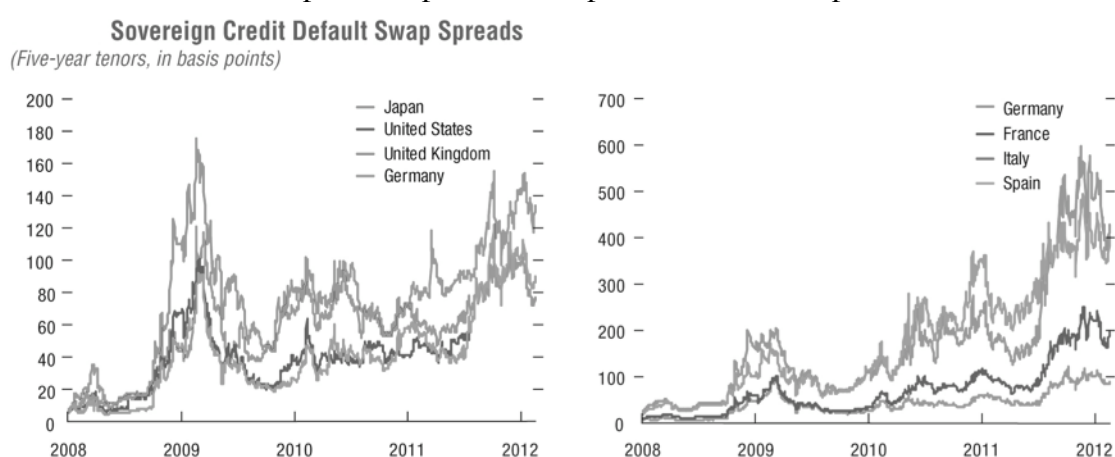
Pourquoi les produits dérivés ne constituent pas un environnement décisionnel susceptible de remplacer le signal-prix ? C'est une question essentielle. Dès lors qu'il n'y a plus de tendances, les assurances protègent certes, mais n'indiquent aucune direction plutôt qu'une autre, les entrepreneurs se rendent compte qu'ils ont grande chance de faire des mauvais choix et ceci les incite à ne pas bouger.

L'emploi des produits dérivés pour palier les risques ne concerne pratiquement que les entreprises de dimension suffisante. Pour une industrie de taille modeste, de même qu'en agriculture, les risques sont trop variés et les choix trop dépendants des prix pour qu'on puisse rationaliser les contours d'une stratégie avec des produits à terme. C'est aussi le cas pour l'industriel innovant qui procède par *learning-by-doing* en essayant des prototypes en laboratoire, en tentant de déterminer le prix de revient d'une fabrication en série, et en essayant d'évaluer si la

demande prévisible est profitable. Il a besoin pour cela d'estimation précise des coûts des composants et de l'énergie. Ce mode d'investigation est courant.³⁰

A cause de la spéculation, le marché global de référence, au lieu de réaliser une moyennisation entre les pratiques qui efface les particularités parce qu'elles ne sont significatives que localement, impose à l'ensemble des acteurs les inquiétudes sur l'avenir que ressentent les spéculateurs qui se traduisent par la volatilité et le coût élevé des produits dérivés, eux-mêmes très agités. D'après certaines études, alors que les marchés organisés sur les denrées alimentaires étaient en 1996 principalement utilisés par les producteurs pour se couvrir des risques (ce qui est l'origine historique de la notion d'option), à partir de 2011 leur usage est surtout spéculatif.³¹

Comme il a été remarqué à propos du marché des droits négociables d'émission de CO2 en Europe, cette forte agitation – que certains ont qualifiée d'hystérique – empêche la lecture d'informations fiables concernant les changements : "Cette volatilité constitue un problème d'efficacité environnementale lorsqu'il devient impossible pour les acteurs d'observer une tendance fiable à long terme car, pour prendre l'exemple de la lutte contre l'effet de serre et du marché européen (ETS), c'est la prévisibilité du prix du carbone qui peut inciter les firmes à innover et à investir pour adopter durablement des technologies moins polluantes [...] au contraire la taxe rend visible, transparent et prévisible le prix des émissions polluantes".³²



Diagrammes extraits du rapport du FMI *Global Financial Stability Report, The Quest for Lasting Stability* 2012 montrant l'agitation extrême du prix de produits dérivés (ici du marché des dettes souveraines), noter que les axes d'ordonnée commencent à zéro.

b) *La mise en place historique des marchés dérivés organisés n'a-t-elle pas été accompagnée d'un malentendu ?*

Parcourons rapidement la seconde moitié du siècle dernier.

Les années d'après guerre et les théorèmes d'équilibre dans l'incertain.

C'est pendant la seconde guerre mondiale que Paul Lévy et indépendamment Shizuo Kakutani découvrirent le lien profond existant entre la théorie du potentiel (théorie des équations aux dérivées partielles elliptiques) et le mouvement brownien. Ceci donna une forte impulsion à l'étude des processus aléatoires avec l'étape majeure de la découverte par Kiyoshi Itô du fait que le mouvement brownien permettait de définir une intégrale nouvelle étendant l'intégrale de Wiener à des fonctions aléatoires adaptées et vérifiant un calcul différentiel nouveau, le calcul d'Itô.

Les mathématiques se développaient durant cette période totalement indépendamment de la finance. Les avancées théoriques considérables — en France sous l'impulsion principale de Paul-André Meyer — n'avaient guère comme seul domaine d'application que le calcul des ouvrages d'art sous sollicitations aléatoires où l'on savait désormais faire passer l'aléa à travers les non linéarités.

Durant ce temps l'économie française était celle des "trente glorieuses". L'effort de reconstruction du pays fut essentiellement public. La Banque de France nationalisée en 1945 faisait des prêts et avances au Trésor généralement gratuits. Les banques devaient consacrer une partie de leurs dépôts à acheter des bons du trésor, et les assureurs devaient acheter des obligations. La monnaie était contrôlée, l'inflation — maintenue en moyenne au dessous de 6% — érodait les dettes. L'Etat encadrait le crédit et la modernisation du pays fut financée sans crise financière.

La doctrine en France — jusque vers la fin des années 1960 — était celle d'une planification incitative par l'action publique selon un mixte des idées de J. M. Keynes et de Pierre Massé. En revanche les économistes travaillaient intensément sur le perfectionnement des vues néoclassiques pour mieux fonder les notions d'équilibre et de marché. La théorie dite de "l'équilibre général" qui explique les prix par l'égalité de l'offre et de la demande, initiée par Léon Walras, avait obtenu des résultats d'existence et des conditions d'unicité dans le cadre statique et déterministe. Mais Kenneth Arrow (1953) et Gérard Debreu (1952-59) montrent que la théorie générale de l'équilibre peut se généraliser au cas où le futur est incertain en introduisant la notion de "biens contingents". Pour rendre opérationnelles ces idées sans ouvrir un grand nombre de marchés et sans supposer de grandes capacités de calcul des agents Arrow suggère la mise en place de marchés financiers pourvus de produits à terme (contingent claims).

Sur la théorie moderne des marchés financiers et la prise en compte des idées de R. Radner (1972), je renvoie aux chapitres 6 *et seq.* du traité de Rose-Anne Dana et Monique Jeanblanc (1994). Insistons juste sur les points suivants : a) les raisonnements se font à temps discret, en fait sur deux dates l'instant présent et l'instant futur, b) l'existence de l'équilibre est établie sous des conditions assez générales mais l'unicité relève d'hypothèses spécifiques relatives au caractère "complet" des marchés.

L'avancée fondamentale historiquement est que ces travaux furent la justification et le déclenchement effectif des mises en place des marchés financiers organisés avec leurs produits dérivés. Cela était souligné par K. Arrow en 1953 explicitement : "La signification de ce théorème [répartition des risques par des marchés financiers] est qu'il permet d'économiser sur le nombre de marchés. Une répartition optimum des risques peut être atteinte à l'aide de S+C marchés seulement et non plus SC". Et en effet les options sur devises apparaissent en 1972 à Chicago, les options sur taux d'intérêt débutent en 1973, et de 1978 à 1990 s'ouvrent les marchés à terme dans toutes les places financières.

La révolution Black-Scholes

Le fait qu'il était peut-être possible de gérer les actifs contingents par des techniques de gestion de portefeuille n'apparut au début que comme un perfectionnement secondaire, les idées porteuses étaient celles des théorèmes Arrow-Debreu-Radner. L'article de Black et Scholes de 1973 était technique et se plaçait sous des hypothèses mathématiques très particulières. Ce n'est que progressivement qu'on se rendit compte qu'il ouvrait la porte à une véritable révolution marquée par un changement de rationalité — assez délicat à expliquer au grand public — que la communauté des économistes de la finance a très rapidement faite sienne³³.

Il s'agit dans ce court article d'une situation d'école où les écritures mathématiques sont aisées et explicites. Mais on y a déjà, en germe, la mise en œuvre d'une logique nouvelle, qui préconise des agissements différents, extrêmement convaincante, devenue depuis une théorie bien charpentée, très générale, enseignée dans de nombreux ouvrages depuis une trentaine d'années³⁴. La conviction sur laquelle je me fonde dans la présente analyse est que la subtilité actuelle des outils numériques de la spéculation — tant vers la haute fréquence qu'en ce qui concerne la traduction des faits matériels, économiques et politiques sur les comportements des acteurs, grâce aux big data et à l'intelligence artificielle — rend la théorie de l'arbitrage plus pertinente que jamais. Soyons clair, cela ne supprime pas du tout l'intérêt des réflexions de politique économique.

Pourquoi la valuation des produits à terme par couverture et absence d'arbitrage est-elle

une révolution ? Pourquoi ce raisonnement change-t-il véritablement la rationalité ? Pourquoi peut-il avoir des conséquences majeures sur l'économie ? Parce que son résultat est absurde au regard de la logique classique : le prix du produit dérivé ne dépend pas de la tendance du sous-jacent.

Il s'agit d'une propriété mathématique de la théorie des processus aléatoires liée à l'intégrale stochastique de semi-martingales, et il est tout à fait étonnant qu'on ait besoin de faire appel à des notions aussi avancées pour comprendre la finance contemporaine. En général, les économistes se piquent de "bon sens" et affectionnent des modèles très élémentaires susceptibles d'être compris par les gestionnaires de terrain, et, corrélativement à même d'influencer les pratiques économiques réelles.

Mais c'est ainsi, il s'agit d'une révolution aussi importante que les changements conceptuels de la théorie de la relativité ou ceux de la mécanique quantique fondés eux aussi sur des notions mathématiques avancées. On peut cependant penser que celle-ci aura, et a déjà eu, des conséquences sociales bien plus profondes que les perfectionnements des théories physiques. Elle fut acceptée immédiatement par les opérateurs sur les marchés financiers qui firent l'effort d'apprendre l'analyse stochastique et le calcul d'Itô parce qu'elle définit les conditions de transactions *justes* en un sens tout à fait pragmatique : ni le vendeur ni l'acheteur ne peut faire un profit sans risque, c'est la condition de non arbitrage. Ce nouveau mode de pricing et de couverture des produits contingents favorisa incontestablement le développement des marchés dérivés dans les places financières de tous les continents à la fin des années 1970 et dans le courant des années 1980.

Néanmoins la difficulté de compréhension a rapidement pris l'échelle d'un phénomène social historique, qui dure encore, caractéristique de notre période néo-libérale : la finance fonctionne aujourd'hui selon des principes que non seulement les hommes politiques mais les universitaires des sciences humaines et même une part significative des économistes de terrain pensent selon des grilles anciennes, inaptés à rendre compte du rôle absolument central de la volatilité dans la structure mathématique, comptable, et institutionnelle des marchés.

On a sous-estimé l'importance de la volatilité.

On a cru que la mise en marché des produits à terme éliminait les incertitudes, comme si la volatilité était un épiphénomène et que ses effets pervers étaient annihilés par les produits dérivés. L'opinion générale dans les années 1990 parmi les économistes est bien représentée par Margaret Slade. Elle fait référence aux travaux de Arrow et Debreu selon lesquels "a market for contingent claims can be treated just like a market with no uncertainty". On a pensé que la mise en place des marchés financiers ne pouvaient qu'améliorer le fonctionnement de l'économie, il ne venait à l'idée de personne que leur donner plus d'importance dans la gouvernance économique pût représenter un moins. Le cadre de pensée de MM. Arrow et Debreu n'avait pas accordé à la volatilité sa juste importance.

Les marchés de biens contingents n'ont pas diminué la volatilité, c'est le contraire qui s'est produit, la volatilité a envahi aussi les nouveaux produits, les tendances sont devenues des licornes et la "révolution Black-Scholes" fait qu'on n'en a objectivement plus besoin pour gérer son portefeuille sur ces marchés.

II/ Crises d'imminence constante

Devant la multiplicité des menaces scientifiquement avérées et devant les longs délais entre les décisions et leurs effets en matière de transition énergétique, il est difficile de comprendre la surdité apparente des hommes politiques et des acteurs économiques. Plusieurs raisons ont été soulignées, fondées sur les contradictions entre comportement individuel et raison collective, sur l'usage des biens communs, sur l'attitude de "passager clandestin" (Bouleau nov. et déc. 2009), (G. Giraud 2012), (Ekeland 2015), etc.

A mon avis il manque à ces explications un trait psychologique fondamental qui pourrait être la raison principale. C'est le *déni* qui réside dans l'idée de *similitude* : croire que la situation est *semblable* aujourd'hui à ce qu'elle était hier.

C'est une économisation mentale du monde qui nous fait penser ainsi, nous allons voir par quels schémas et paradigmes.

A) Le catastrophisme

Sur la grande question de savoir si la civilisation conditionnée par la nature et un passé de conquête est à même d'affronter les nouveaux défis liés à la finitude de la planète plusieurs attitudes ont été adoptées par les essayistes : 1) on peut laisser le lecteur avec une perspective de désastre, en misant sur l'effet social que peut avoir un livre pour susciter une prise de conscience dans l'esprit de Jared Diamond (2006) avec l'exemple de l'île de Pâques, 2) on peut adopter la ligne philosophique de Jean-Pierre Dupuy (2002) que la vision de la catastrophe est la source efficiente du ressaut nécessaire, 3) ou bien encore s'en remettre à une forme d'optimisme abstrait à la manière d'Edgar Morin (2004) qui brosse un tableau lucide des problèmes « qui prouvent que les processus engagés nous conduisent à l'abîme » puis, qui conclut que l'imprévisible peut nous sauver : « Je pense donc que des processus encore invisibles et minoritaires dans le présent peuvent se développer et créer, en s'alliant les uns aux autres, une métamorphose comme le ver tout nu de la chrysalide qui se transforme, au cours d'une autodestruction qui se révèle en fait être en même temps une auto-construction, en un être très différent, le papillon ou la libellule doté de qualités nouvelles ». C'est aussi le procédé de Hubert Reeves (2013).

Excepté celle de Jean-Pierre Dupuy, ces attitudes, à mon avis, ne tiennent pas compte suffisamment de l'économie. La position de Dupuy en revanche, économiste lui-même, mérite d'être analysée au détail, elle est celle de quelqu'un qui voit l'économie comme une violence peu capable de penser le désastre écologique, et qui s'en détourne donc comme stratégie sur ce problème, tout en faisant confiance à une pensée strictement analytique.

Je n'utilise ici qu'une petite partie de l'œuvre de Jean-Pierre Dupuy au risque de manquer certaines dimensions de sa pensée : l'ouvrage (Dupuy 2002) et les articles (Dupuy 2008, 2009, 2012). Je me servirai également du texte intitulé « De la possibilité d'une futurologie scientifique » (2004) qui a circulé comme prépublication mais ne semble plus disponible actuellement.

Jean-Pierre Dupuy distingue trois cas où la prédiction de l'avenir peut intervenir. 1) Le cas de l'état futur d'un système lointain sur lequel la prédiction elle-même n'a pas d'influence. Alors la prévision s'apparente à celle d'un système physique. 2) Le cas où le prédicteur agit par la parole sous forme conditionnelle : voici ce qui se passerait si vous décidez telle chose ou si vous faisiez telle autre. 3) Enfin le cas où le prédicteur sait que sa prédiction va perturber le système et en tient compte pour trouver la formulation la plus pertinente.

La prospective concerne le second cas. Elle étudie des scénarios. Pour Dupuy elle n'est pas adaptée à l'étude du type d'incertitude radicale à laquelle nous nous trouvons aujourd'hui confrontés.

En revanche il propose d'approfondir le troisième cas. Pour cela il insiste sur une situation où la lecture de la problématique du futur est particulière et importante : *le temps du projet*. Le temps du projet est le cas où il y a coïncidence entre ce que dit la prévision et le monde perturbé par cette prévision. On voit la procédure de *point fixe* dont il s'agit, et on imagine bien qu'on puisse la rencontrer en économie avec les prédictions auto-réalisatrices, les marchés ou la spéculation par exemple. La planification à la française telle que l'avait conçue Pierre Massé visait typiquement à réussir cette conjonction ainsi que le dit Roger Guesnerie "[La planification] visait à obtenir par la concertation et l'étude une image de l'avenir suffisamment optimiste pour être souhaitable et suffisamment crédible pour déclencher les actions qui engendreraient sa propre réalisation"³⁵.

Pour résoudre le problème de la catastrophe majeure Jean-Pierre Dupuy veut mettre à profit le temps du projet au sens ci-dessus. Il est persuadé que viser un tel point fixe est la seule façon d'être irréfutable. Il faut donc annoncer et prédire la catastrophe avec les moyens d'annonce qui la rendent nécessaire et s'en échapper néanmoins³⁶. D'où la formulation qui est la dernière phrase de son livre "Le catastrophisme éclairé consiste à penser la continuation de l'expérience humaine comme résultant de la négation d'une autodestruction — une autodestruction qui serait inscrite dans son avenir figé en destin". Il considère qu'il faut rendre crédible la perspective de la catastrophe pour accroître la force ontologique de son inscription dans l'avenir. Mais évidemment cela ne veut pas dire augmenter le nombre des centrales nucléaires. Ce qu'il veut dire c'est que *l'activité de prédiction* doit constituer une partie intégrante du fonctionnement social de sorte qu'elle puisse avoir un réel effet causal sur ce fonctionnement.

Approchons nous davantage du raisonnement avancé : "La méthode philosophique que j'ai proposée sous le nom de « catastrophisme éclairé » pour aborder ces questions, écrit-il, trouve son origine dans un paradoxe qu'Henri Atlan et moi avons découvert ensemble, en 1976, et qui n'a pas cessé de m'obséder, il s'agit du paradoxe de Newcomb". De quoi s'agit-il ? Une question relative à l'aversion face au risque et à la prévision :

Soit deux boîtes, l'une transparente, qui contient mille euros, l'autre, opaque, qui soit contient un million d'euros, soit ne contient rien. Le choix de l'agent est soit H1 : ne prendre que le contenu de la boîte opaque, soit H2 : prendre le contenu des deux boîtes. Au moment où le problème est posé à l'agent un Prédicteur a déjà placé un million d'euros dans la boîte opaque si et seulement si il a prévu que l'agent choisirait H1. L'agent sait tout cela et il a une grande confiance dans les capacités prédictives du Prédicteur. Que doit-il faire ?

Une première argumentation qui vient spontanément à l'esprit de ceux qui découvrent le problème conclut que l'agent doit choisir H1. Le prédicteur l'aura prévu et l'agent aura un million. S'il choisissait H2, il n'aurait que mille euros. Le paradoxe est qu'une seconde argumentation paraît tout aussi décisive, alors qu'elle conclut de manière opposée. Lorsque l'agent fait son choix, il y a ou il n'y a pas un million d'euros dans la boîte opaque : à prendre les deux boîtes, il gagne évidemment mille euros de plus dans l'un et l'autre cas. H2 est donc sa stratégie dominante.

On est très éloigné du quotidien des gens. Comment de tels raisonnements quelque peu byzantins ont-ils une chance de motiver un fort mouvement sur l'élaboration sociale des prédictions ? Ce registre crée un vrai malaise. Car le capitalisme lui, est tout près des gens, il sait leur faire trouver leur intérêt, il est compris par l'agriculteur, par le pêcheur, par les parents pour la famille.

Nous allons voir qu'au niveau de l'utilisateur ordinaire et de l'agent économique, un schéma de pensée analytique beaucoup plus simple influe grandement sur les comportements.

B) La catastrophe pensée économiquement

Indépendamment de la portée de l'argument logique développé par Dupuy, il reste une question de fond que l'on peut formuler ainsi : est-t-il sûr que la croyance forte à la plausibilité de la catastrophe, et donc le discours demandant d'abandonner l'espoir, aient pour résultat de vivifier l'action en vue d'éviter la catastrophe ? Compte tenu de ce que nous savons de l'ampleur du changement de mode de vie qui est nécessaire pour respecter les limites des ressources minérales et pour tenir compte de la finitude des flux d'énergie et de la faible résilience de la nature, tout porte à croire que le résultat serait au contraire le déni pur et simple de la réalité, d'autant plus que celle-ci est décrite par des scientifiques très lointains.

D'après une étude réalisée en 2013 par l'ADEME la proportion des Français qui pensent que l'effet de serre est une hypothèse et que la cause des désordres est incertaine n'a jamais été si haute depuis dix ans. Elle atteint 23% en France, on sait qu'elle est bien supérieure en Angleterre et aux Etats Unis.

Aussi la question du meilleur registre de propos pour éviter une catastrophe telle que le changement climatique à plus de 3°C à la fin du siècle, ou celle de l'effondrement de la biodiversité, fait intervenir tous les méandres de la psychologie individuelle et collective. Dès lors que la perspective aperçue est traumatisante, le refus de reconnaître cette réalité est souvent l'attitude la plus courante c'est-à-dire la dénégaration. "Une vérité niée a autant de poids imaginaire qu'une vérité avouée, *Verneinung* que *Bejahung*" écrit Lacan³⁷. Mais déjà Freud avait pointé le déni à propos des catastrophes. Dans une lettre à Romain Rolland il écrit :

"Puis-je m'arrêter à un cas-limite de semblable défense ? Vous connaissez la célèbre complainte des Maures espagnols *A y de mi Alhama*, qui raconte comment le roi Boabdil accueille la nouvelle de la chute de la ville Alhama. Il pressent que cette perte signifie la fin de son règne. mais comme il ne veut pas « tenir pour vraie » cette fin, il décide de traiter la nouvelle comme du « non arrivé ». Voici la strophe

*Des lettres lui parvinrent
Disant que Alhama avait été prise
Les lettres il les jeta au feu
Et le messenger il le mis à mort.*

[Boabdil, dernier roi maure de Grenade, y régna de 1487 à 1491] On devine aisément, poursuit Freud, qu'à cette conduite du roi prend part le besoin de s'opposer au sentiment de son impuissance."³⁸

a) *Procrastination et homothétie*

"On veut bien faire des efforts, mais dans quinze ans, et, en attendant, c'est *business as usual*. Cette habitude de prendre une décision énergique aujourd'hui, mais de remettre au lendemain son exécution, est bien attestée dans la psychologie individuelle : cela s'appelle de la procrastination. Disons par exemple que je décide de faire de l'exercice de m'arrêter de fumer. Je sais que c'est bon pour la santé, je vais donc m'y mettre, mais pas aujourd'hui, cela tombe mal, j'ai trop de choses à faire ou je suis trop fatigué... Demain sans faute. Le malheur, c'est que quand je me réveille le lendemain matin, je découvre que demain est devenu aujourd'hui, et que le problème se pose exactement dans les mêmes termes. Il est résolu de la même manière (pas aujourd'hui, mais demain sans faute) " (Ekeland 2015).

C'est la *similitude* de la situation d'aujourd'hui à celle d'hier qui est paralysante. Psychologiquement il y a comme une situation stationnaire. Comment cela est-il possible ? Si j'avais dit "j'arrête de fumer avant la fin de la semaine" ce serait différent, l'urgence pourrait se mesurer et être comparée aux dispositions concrètes à prendre. Ce qui fait que la catastrophe est gérée sous le régime de la procrastination c'est qu'elle est incertaine, c'est le hasard qui rend possible cette homothétie.

b) *Psychologie du risque de défaut*

Les discours philosophiques sur l'avenir qui tiennent compte de l'éventualité de l'effondrement sont nombreux et éparpillés, on se place au bord du précipice, sans dater précisément l'instant du drame. Seulement on doit reconnaître que l'économie libérale parvient parfaitement à maintenir son cap habituel dans un monde que des intellectuels promettent au désastre. C'est qu'elle a un puissant rôle d'éducateur fondé sur des mathématiques qualitatives très simples qui expriment d'ailleurs au quotidien davantage la pensée classique que néo-classique ou contemporaine. Si le prix monte la demande baisse; le risque d'un placement doit être rémunéré; la rareté d'une ressource fait monter son prix; etc., sorte de "common knowledge" qui est la rationalité ordinaire partagée faite de quelques schémas simples.

Pour mieux dessiner l'un de ces paradigmes de base, nous allons d'abord épurer le problème. Les termes d'effondrement, collapse, ruine, désastre, sont vagues. Ils embrassent des phénomènes très divers, comme l'épuisement des ressources énergétiques fossiles, le basculement vers un régime climatique irréversible, la mort de toute espèce vivante dans l'océan à cause de son acidification, etc. Et il est certain que la signification de l'événement dont on parle est primordiale ainsi que les moyens interprétatifs dont nous disposons pour l'appréhender, nous

en parlerons en conclusion. Mais nous allons simplifier cet événement pour la cause de l'argument *en le ramenant à une simple date* et nous l'appellerons « la catastrophe ».

Ce que les philosophes du catastrophisme n'ont pas vu, ou du moins ce sur quoi ils ont eu tort de ne pas insister, c'est qu'on peut parfaitement croire que la catastrophe est certaine et même proche en un certain sens, *sans que ceci, en soi, implique que le temps qui s'écoule sans qu'elle se produise la rende plus imminente*. Il est même possible et cohérent que la situation soit parfaitement stationnaire au sens que sa non survenue jusqu'à présent ne rende la catastrophe ni plus lointaine ni plus proche. Il suffit pour cela de considérer qu'elle survient à un temps aléatoire qui suit une loi exponentielle.

Est-ce là une curiosité mathématique ? Pas du tout, c'est extrêmement courant et banal. Les situations que j'évoque que l'on peut appeler *d'imminence constante* incitent évidemment à ne pas changer de comportement c'est-à-dire au *business as usual*. Elles se rencontrent partout dans la vie quotidienne et souvent en physique. Elles sont la base de la représentation des pannes par les ingénieurs pour les objets fabriqués et pour les centrales nucléaires. Elles sont la notion la plus simple pour des dispositifs dont la sûreté et la fragilité n'est pas affectée tant qu'il n'y a pas de panne. Si la catastrophe est déclenchée par la première apparition d'un phénomène parmi un très grand nombre de phénomènes indépendants elle est d'imminence constante. Si deux ou plusieurs catastrophes indépendantes sont d'imminence constante, la première catastrophe qui survient est elle-même d'imminence constante.

Dans une situation d'imminence constante les signes avant coureurs n'existent pas, la catastrophe survient par surprise. Ceci dit, n'oublions pas que dans une situation à risque, un signe avant coureur ne fournit pas généralement de date buttoir, de sorte que la constance de l'imminence ne se trouve pas réfutée par un tel avertissement. En général la causalité entre le signe avant coureur et la catastrophe est de nature sémantique et ne permet pas une quantification précise. Ce pourrait être le cas pour des pannes identifiées concernant des dispositifs similaires en grand nombre dont on aurait des statistiques. Mais par définition les catastrophes sont rares.

Il y a donc une légitimité pour la position que les menaces environnementales mêmes les plus graves se produisent de façon certaine à une date finie aléatoire et soient néanmoins d'imminence constante. Cette vision, si on l'adopte, revient à dire aux écologistes : « causez toujours, ce que vous dites ne change pas ma situation décisionnelle ». Ajoutons que pour tenir cette position il n'est pas nécessaire de connaître le paramètre de la loi exponentielle qui gère ladite catastrophe.

La *catastrophe pensée économiquement*, devient une explication possible du *business as usual*, lorsqu'elle se fonde sur une place centrale accordée — comme schéma mental — aux *situations d'imminence constante*. Est-ce que ce « paradigme » a suffisamment d'importance sociale pour pouvoir jouer un rôle dans l'inertie constatée devant les menaces environnementales ? On pourrait penser que de tels petits schémas n'ont aucune importance compte tenu de l'épaisseur historique des phénomènes sociaux. Je crois au contraire que l'économie inscrit ce réflexe dans la vie quotidienne. Il existe en effet une institution qui consacre des sommes importantes à éduquer les ménages de tous les pays dans le sens d'une perception des risques selon des schémas d'imminence constante. C'est la finance et son usage maintenant du marché international du crédit. Quand Madame et Monsieur Toulemonde vont à la banque placer leurs économies on leur explique en tout premier lieu que les placements sûrs ont des rendements bas et que pour avoir des rendements élevés il faut prendre des risques. Dans l'utilitarisme quotidien le modèle de base est que la faillite de l'entrepreneur, le risque de défaut de n'importe quel prêt se traduit implacablement sur le taux. Et derrière cette « loi » se trouve évidemment la logique que la représentation *la plus simple* d'une échéance aléatoire est une variable exponentielle, dont le paramètre génère le taux du prêt. Plus c'est risqué, plus l'imminence (constante) est brève, plus le taux est élevé, et *a contrario* plus c'est confiant et sûr, plus l'imminence (constante) du défaut est lointaine et plus le taux est bas.³⁹

Deux raisons principales donnent à cette simplification une grande force pratique. La première est que le paradigme de l'imminence constante s'accorde bien avec l'idée que les paiements périodiques des intérêts du prêt se font selon un taux constant. Car il est clair que dans une situation où la faillite serait pensée comme de plus en plus proche il serait normal que le taux des prêts augmente⁴⁰. La seconde est l'organisation mondiale du marché des créances sous la forme de la titrisation. Sans entrer ici dans les détails (cf. Beacco-Hubaud 2013) disons que l'aboutissement du travail d'assemblage, d'assurance et de notation des paquets de créances mises en marché, est de permettre aux acheteurs de ne se fonder que sur un seul paramètre, le taux, pour décrire le paquet et en déduire un prix de marché du dossier. C'est une simplification radicale de la réalité économique, on gomme toutes les particularités idiosyncratiques.

Les financiers eux-mêmes regrettent le caractère primaire de ce dispositif qui imprègne toute l'initiative économique contemporaine. Bien des spécialistes suggèrent des améliorations à ce sujet qui permettraient de mieux tenir compte de descriptions plus fines de la réalité des risques économiques véritables. Mais le coupable est le prix de marché unique dans une organisation mondiale fluide et immédiate. Perfectionner la description, multiplier les paramètres, c'est compartimenter le marché.

Pour résumer, l'économie et particulièrement la finance de la période néolibérale actuelle, a installé, avec la pédagogie redoutablement efficace des moyens d'agir, une logique économique où les risques sont — en premier lieu — pensés selon des situations immuables tant que la catastrophe ne s'est pas produite. Ce type d'enseignement pratique est des plus performants.⁴¹

C) Conclusion de la deuxième partie : réformer l'économie du crédit ?

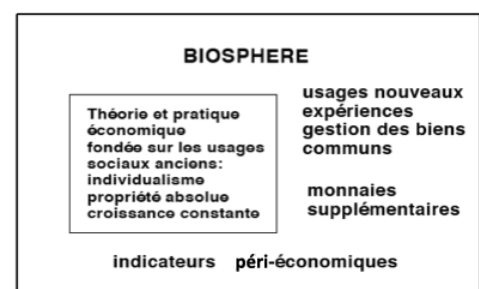
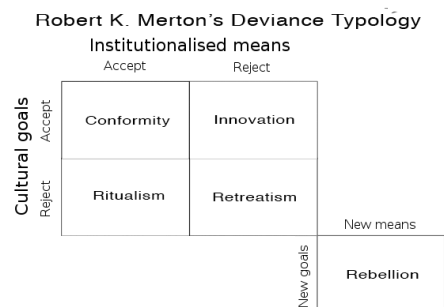
La référence mentale à une économie où les taux sont constants et où le temps déroule un paysage économique homothétiquement est si forte chez les agents, ménages, entrepreneurs et investisseurs, qu'on en déduirait logiquement qu'une réforme du crédit est nécessaire pour aider la transition énergétique et écologique.

Il y aurait plusieurs raisons d'aller dans cette direction à cause notamment du fait que le marché des créances au niveau des prêts aux Etats revient à les taxer de façon inversement proportionnelle à leur réussite économique comme si les légitimités politiques des Nations pouvaient être traitées comme les faillites des entreprises. Il y a sûrement des changements souhaitables aux usages actuels pour que les prêteurs soient davantage liés et impliqués dans les enjeux et la signification des projets qu'ils aident à financer. Mais le trait psychologique que nous soulevons est si profondément ancré dans les mentalités que le réformisme risque d'être insuffisant⁴².

Il faudrait alors penser en termes de rébellion ou de révolution : non plus discuter mais renverser la table. Eternelle question. Le sociologue Robert K. Merton 1910-2003, père de l'économiste, célèbre pour avoir introduit le concept de "théorie sociologique de moyenne portée" avait proposé le classement ci-joint pour les attitudes critiques hors du conformisme. Rébellion signifierait ici de nouveaux buts et de nouveaux moyens économiques.

Autant dire une si grande ambition, irréaliste, qu'elle constituerait de fait une nouvelle forme de procrastination.

Comme souligne justement Christian Thimann la finance ne voit qu'un risque financier alors que le climat et l'environnement relèvent d'une notion de risque plus large⁴³. Les solutions au *business as usual* dont nous parlons résident beaucoup plus dans l'ouverture d'un nouveau domaine de la pensée pour l'action hors du champ économique principal — restreignant donc la théorie et la



pratique économique à un domaine plus étroit — plutôt que de vouloir modifier les fondements de la logique des échanges de biens et de services tels qu'ils sont en usage actuellement même si des réformes sont souhaitables. Le schéma de base est donc celui ci-contre qui accorde un rôle prioritaire et englobant aux préoccupations de préservation de la biosphère. Et concrètement cela signifie une vigilance toute particulière sur les solutions toutes prêtes que l'économie libérale propose pour aborder l'environnement en l'incluant dans l'économie du bien-être ce qui reviendrait à renverser le schéma ci-contre en permutant les rectangles de l'économie libérale et de la biosphère.

III/ Conclusion générale : préconisations

Les raisons de l'inertie actuelle devant les menaces avérées à la vie humaine sur cette planète sont fortement ancrées dans notre culture par les valeurs que l'histoire a façonnées. Elles sont multiples citons : a) le citoyen ne voit pas les dégâts (la couche d'ozone, le CO₂, la menace sur les ressources halieutiques, la pollution des nappes phréatiques, etc.) b) l'idée fausse que la nature cicatrise toujours (idée qui vient de la lutte ancestrale contre la végétation) c) la question de la préservation des biens communs et le dépassement de la rationalité économique pour tenir compte des générations futures, d) la faiblesse des institutions collectives, etc.

Nous nous restreignons ici à des facteurs qui sont strictement dus à des principes constitutionnels de la finance contemporaine.

Au niveau des institutions : la prévalence des marchés financiers dans l'organisation de l'économie mondiale et l'effacement du signal-prix. Nous avons montré l'inefficacité des produits à terme contre la fumée fabriquée par la volatilité et le fait que les prix des ressources non renouvelables mises en marché n'indiquent plus clairement leur rareté.

Au niveau psychologique : les règles de base du crédit ont tendance à partager le monde à venir en deux parties, du côté gauche (sinistre) la catastrophe avec une certaine probabilité, du côté droit la catastrophe évitée ainsi que cela s'est déroulé jusqu'à présent. Avec la propriété — psychologiquement fondamentale — que lorsque le temps se déroule, le côté droit reste homothétique à lui-même. Conditionnellement à l'évitement du drame, le temps ne change rien.

Ces deux facteurs étant pointés, quelles solutions sont envisageables ? Nous allons d'abord revenir sur l'idée beaucoup commentée et déjà expérimentée de taxe sur les transactions financières, et tenter de voir si elle peut être un outil contre la volatilité. Puis nous en viendrons à la préconisation de Solow qui sera notre principale conclusion.

A) Une taxe peut-elle être un outil pour lutter contre la volatilité ?

Il ressort de la synthèse de Colliard-Hoffmann (2015) que l'impact d'une taxe sur les transactions financières (TTF) — qu'elle soit "pure" portant sur toutes les transactions d'un marché ou du type "droit de timbre" n'impactant que les transferts de propriété journaliers — est principalement une réduction des volumes de transaction et en conséquence une certaine réduction de la fluidité. En revanche en ce qui concerne la volatilité les avis sont dispersés avec un plus grand nombre d'études concluant à une augmentation ou une absence d'effet sur l'agitation des prix et moins nombreuses celles qui concluent à une diminution. Nous renvoyons à l'*Opinions et Débats* n°9 et à sa bibliographie sur l'analyse des avantages d'une TTF du point de vue fiscal pour la puissance publique et les mises en œuvre diverses en Europe.

Une question sensiblement différente, plus directement en rapport avec notre préoccupation ici concernant la fumée produite par les marchés financiers en matière de signal-prix, est de savoir si on pourrait configurer une taxe de sorte qu'elle pénalise directement la volatilité. Autrement dit que la taxe dépende de façon croissante de la volatilité du cours mesurée.

L'intérêt théorique en serait le suivant. Si un agent économique est prêt à faire un investissement qui fait intervenir des actions d'entreprises cotées et des devises, il a deux façons de faire. Soit il se fie exclusivement au marché qui grâce à ses cotations d'actions, de devises, de

matières premières et de produits à terme relatifs à ces actifs lui donne apparemment toute l'information sur les incertitudes du projet. Soit il dépense un budget spécifique pour s'enquérir lui-même de la rentabilité de l'affaire dans laquelle il entend s'impliquer ainsi que ses incertitudes. Cette seconde méthode est "l'ancienne logique économique" qui était la principale façon de faire avant les années 1970, qui consistait à mandater des experts pour étudier les projets et des ingénieurs pour évaluer les chances de réussites des innovations des entreprises. Cette méthode est plus chère que la première qui est gratuite. Mais elle ne fabrique pas l'information de la même manière. Les deux voies sont d'autant plus différentes que la volatilité est grande. D'où l'idée de taxer en fonction croissante de la volatilité. Si on taxe les transactions faites sur les marchés volatils cela change la donne pour l'investisseur entre l'usage de l'information de marché et l'usage de sa propre information. La gestion des affaires en agissant seulement grâce aux outils des marchés se trouve à cause de la taxe avoir un coût qui va inciter les acteurs à aller chercher eux-mêmes ou auprès de prestataires spécialisés une information de meilleure qualité. Pourquoi de meilleure qualité ? Parce qu'elle peut tenir compte de facteurs que le marché ne peut qu'ignorer, par exemple les liens d'intérêts entre l'investisseur lui-même et la région géographique concernée ou encore les catégories de biens dont il est question dans le projet, enfin la qualité des hommes qui pilotent compte tenu des informations recueillies. Cette information peut aussi tenir compte d'objectifs à long terme (changement climatique, biodiversité, ressources) que la myopie des marchés ignore. Donc taxer la volatilité, c'est encourager les acteurs à élaborer une meilleure information économique en tenant compte des "gens qui sont familiers avec les circonstances" pour reprendre l'expression de Hayek.

Je n'aborde pas ici la question de la configuration technique d'une telle taxe qui est relativement simple dans le cas d'une taxe "droit de timbre" et plus délicate s'il s'agit d'une taxe pure qui touche aussi la gestion des produits dérivés par suivi de marché (gestion en risque neutre) en raison du fait que la volatilité se définit à partir des carrés des accroissements, mais ces aspects techniques peuvent être surmontés.

Ainsi formulé le problème de la TTF devient un choix politique plus clair puisque la taxe revient à dire qu'on considère que l'information produite par les marchés financiers n'est pas la plus pertinente : devant l'*inefficience* des marchés, supposée ou constatée, une correction est appliquée par incitation publique pour orienter les agents à rechercher par eux-mêmes une meilleure information économique. On est bien dans l'esprit de l'intelligence économique distribuée de Hayek et tout à fait dans le prolongement des préoccupations initiales de Tobin (1978).

B) Nécessité d'une information extra-financière

a) Préconisation de Solow

Robert Solow conclut l'article de 1974 sur les ressources non renouvelables que nous avons déjà mentionné par une prise de position très claire qui mérite d'être explicitement citée :

Les considérations précédentes suggèrent que le marché des ressources non renouvelables pourrait être une des situations économiques où une certaine forme de planification organisée indicative pourrait jouer un rôle constructif. Il ne s'agit pas de mettre en place la décision centralisée, qui a sans aucun doute ses imperfections et ses externalités propres. En effet il serait suffisant d'avoir un gouvernement engagé dans un programme permanent de recueil d'information et de dissémination couvrant les tendances concernant la technologie, les réserves et la demande. On pourrait au moins espérer que des normes professionnelles régissent un tel exercice. J'estime que la logique intrinsèque de la planification indicative est qu'une certaine comparaison et coordination entre les principaux participants au marché, y compris le gouvernement, puissent éliminer les erreurs majeures et résoudre beaucoup d'incertitudes. Dans le cas des ressources non renouvelables, il pourrait y avoir

*l'objectif supplémentaire de générer un ensemble d'attentes cohérentes sur l'avenir lointain.*⁴⁴

Cette affirmation a d'autant plus de poids qu'elle émane d'un économiste qui ne peut être taxé de rébellion contre la pensée néo-classique.

En 1974, cette idée que les déductions économiques ne peuvent rendre compte que d'une partie du réel était déjà présente chez plusieurs économistes. En particulier Nicholas Georgescu-Roegen en fait un pilier de son livre majeur *The Entropy Law and the Economic Process* (Harvard University Press 1971), anticipant dès cette date les préoccupations environnementales qui seront celles de beaucoup d'économistes plus récents (Amartya Sen, Lester Jones, Herman Daly, etc.).

Ainsi Solow réclame une instance étatique ou indépendante capable de prendre en compte les tendances et le long terme pour informer efficacement sur les évolutions de la technologie, les réserves et la demande. Cette préconisation apparaît encore plus indispensable maintenant que les menaces sur l'environnement se sont aggravées et que le fonctionnement des marchés financiers a été théorisé et leurs faiblesses révélées plus clairement.

b) Pourquoi une information péri-économique ?

Finalement dans quelle situation se trouve aujourd'hui l'entrepreneur, agent économique typique de la coordination par les prix chère à Hayek ? Pour les ressources épuisables qui interviennent dans sa fonction de production il a accès à un prix spot agité, et nous avons développé des arguments qui montrent que cette agitation a toute chance d'augmenter avec la raréfaction de la ressource jusqu'à une crise qui résoudra le conflit d'interprétation entre l'agitation observée et la conviction personnelle que la ressource est sur le point d'être épuisée et qui se traduira par l'effondrement du cours vers zéro et/ou l'arrêt de la cotation. Le propre de l'agitation forte du cours est qu'elle rend impossible l'extraction de la tendance sous-jacente et donc impossible également sa comparaison avec le taux de référence de sorte que la rareté n'est pas clairement visible sur le prix spot.

Cependant l'entrepreneur dispose d'une palette de produits dérivés qui lui permettent de s'assurer contre les risques de marché des ressources qui l'intéressent. Une question centrale est de voir si cela peut remplacer pour lui le signal-prix manquant. Rappelons que les prix des produits dérivés n'indiquent pas la tendance du sous-jacent de façon objective. Car la théorie de l'arbitrage nous dit que leurs prix ne dépendent que de la volatilité du cours.

Notre industriel n'a plus les informations micro-économiques qui lui seraient nécessaires. Il a moins de connaissance, sa gouvernance n'est plus une anticipation de l'à venir, il subit les variations du marché qui sont dues à d'autres acteurs et d'autres interprétations de la réalité. La conséquence est qu'il lui est beaucoup plus difficile de lancer son entreprise selon une vision qu'il construirait lui-même — et a fortiori de penser au moyen terme et de prendre l'initiative de changements pour anticiper la transition énergétique.

C'est la situation inverse de l'*empowerment*, l'entrepreneur se trouve diminué dans ses possibilités d'agir, obligé de subir. La cause profonde vient de ce que dans le théorème d'Arrow-Debreu-Radner qui justifie la coordination de l'économie par les marchés financiers, les catégories qui qualifient la seconde date sont choisies lors de la première date. Et dans le passage à temps continu c'est aujourd'hui que les produits à terme sont dessinés. De sorte que l'éventuel qui devrait être façonné par tout ce qui est impensé aujourd'hui et contribue à faire la situation de demain, est schématisé selon une grille objective qui ne peut pas prendre en compte les particularités idiosyncratiques connues des seules personnes au fait des circonstances locales.

Les produits dérivés sont une schématisation extrême de l'éventuel, qui ne concerne que le prix de marché. Ce qui intéresse l'entrepreneur c'est tout le paysage et son évolution dans lequel il agit ainsi que ses partenaires, avec ses corrélations, ses lois de probabilités particulières, etc., alors que les marchés ne lui fournissent qu'une sorte de flou global instantané sans tendances, et de plus ces assurances que sont les produits à terme ont des prix eux-mêmes agités.

Pour planifier et décider à terme n'y a pas d'autre moyen que de connaître la rareté par elle-même sans passer par le prix. Les marchés ne sont pas un instrument de pilotage, il faut rendre opérationnelle la préconisation de Solow.

c) *Indicateurs. Solutions-exemples pour la sortie d'une ressource.*

Les indicateurs descriptifs sur l'état de la planète sont un complément indispensable à l'information économique lacunaire qui scotomise la finitude des ressources fossiles et du flux solaire. C'est sur de telles descriptions quantitatives (en poids, volume, surfaces, etc.) qu'est fondée par exemple l'*empreinte écologique* de M. Wackernagel qu'utilise l'actualisation de 2004 du rapport Meadows⁴⁵. Ces indicateurs concernent toutes les grandeurs physiques factuelles et leurs séries temporelles : sur les températures, les glaces, le niveau des mers, les tempêtes, l'état des rivières, des nappes phréatiques; mais également les ressources renouvelables qui, si elles sont surexploitées, deviennent épuisables : les ressources halieutiques, les forêts, les pâturages, l'artificialisation des sols, la biodiversité, les surfaces accordées aux écosystèmes.

A partir de ces données quantitatives des indicateurs plus fins ont été élaborés pour se relier plus directement à l'économie : indicateurs alternatifs au PIB, indicateurs de *performance environnementale* des entreprises, etc., ainsi que des outils destinés à la décision collective pour l'accès aux ressources et leur gestion⁴⁶. A ce niveau les indicateurs font appel à la modélisation et sont donc empreints de facteurs interprétatifs qui les façonnent par l'histoire et la culture. Ceci justifie une pensée critique à leur égard qui peut prendre la forme d'une contre-modélisation⁴⁷ ou d'une analyse sociologique⁴⁸. Des indicateurs élaborés pour être éclairants dans une certaine situation ne peuvent pas être neutres ni politiquement ni axiologiquement. Mais ceci ne saurait les récuser pour autant. La meilleure connaissance que nous ayons de notre contexte est nécessairement entachée d'une appartenance socio-historique qu'il serait vain d'oublier.

Ces connaissances sont des outils qui peuvent permettre de dégager des tendances de moyen terme et de long terme utiles aux entreprises. Elles sont complétées, c'est également important pour faire apparaître la crédibilité des changements envisageables, par des expériences en cours : des entreprises ayant anticipé l'extinction de certaines ressources ou des agglomérations poussant des dispositifs préparant la transition énergétique. Citons l'expérience de Totnes en Angleterre et le réseau des villes en transition⁴⁹, la papeterie Pocheco sans déchets et à énergie solaire⁵⁰, l'expérience de Mâlain en Bourgogne⁵¹, etc. Ces expériences se multiplient dans tous les pays et l'information à ce sujet se structure utilement sur Internet par les associations et les structures publiques.⁵²

La forme opérationnelle la plus simple pour prendre en compte la préconisation de Solow serait de parvenir à créer auprès de l'ONU un organisme similaire à l'IPCC mais concernant la totalité des ressources environnementales avec la mission de coordonner les études les plus sérieuses pour approfondir, perfectionner et mettre à jour en permanence un tableau bien documenté dans l'esprit de ce qu'avait esquissé le rapport Meadows.

Epilogue

Finalement est-il possible que trois économistes mathématiciens de haute volée, Arrow, Debreu et Radner, n'aient pas pris pleine conscience, dans les années 1950-60, de ce que la théorie d'un marché contingent à deux dates était un cadre insuffisant pour penser les conséquences économiques des rapports des marchés financiers et du long terme ? C'est ce que notre étude suggère. Il semble que ce qui dissimule l'importance de la volatilité est l'argument implicite du *double passage à la limite* : On raisonne avec deux dates, et, en itérant, puis en faisant tendre le pas vers zéro, on obtient le marché en temps continu qui est lui-même déployé jusqu'au long terme. Dans ce partitionnement et ce déploiement la volatilité a fait son apparition, on ne la voyait pas sur les deux dates initiales. D'un point de vue épistémologique ceci fait croire que les agents disposent de tout ce dont ils ont besoin même pour appréhender le long terme, alors qu'ils n'ont même pas d'indication sur la rareté des ressources épuisables. Le lecteur philosophe ne sera pas surpris : la volatilité vient des doutes des agents et des interprétations qui les inquiètent, elle

s'alimente en dehors de ce qui est économiquement comptabilisé, elle existe parce que les mesures, les observables, les modèles économiques sont des schémas de pensée très pauvres que tous les agents dépassent par leur intelligence du monde vécu.

La préconisation de Solow revient à s'adresser directement à cette intelligence.

Annexes

A-1. *Qu'est-ce que la volatilité ?*

Lorsque qu'on raisonne dans le cadre de la théorie stochastique de l'arbitrage on considère que le cours de l'actif est une semi-martingale. Pour fixer les idées soit X_t une semi-martingale strictement positive, alors $Y_t = \int_0^t \frac{dX_s}{X_s} = M_t + A_t$ est une semi-martingale. Si nous supposons de plus que $dM_t = \sigma_t dB_t$ et $dA_t = a_t dt$, la volatilité de X est le processus

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{d \langle M, M \rangle_t}{dt}}$$

et le drift ou taux de croissance est $a_t = \frac{dA_t}{dt}$.

X est solution de l'équation différentielle stochastique $dX_t = X_t \sigma_t dB_t + X_t a_t dt$. Si les processus σ^2 et a sont intégrables, X s'écrit donc $X_t = X_0 \exp [\int_0^t \sigma_s dB_s - \frac{1}{2} \int_0^t \sigma_s^2 ds + \int_0^t a_s ds]$.

Si la semi-martingale présente des sauts, la définition doit être modifiée selon les techniques habituelles de la théorie des martingales.

Au vu d'une trajectoire, ceci définit la volatilité grâce aux théorèmes d'approximation du type $\langle M, M \rangle_t = \lim_{\tau \rightarrow 0} \sum (Y_{t_{n+1}} - Y_{t_n})^2 = \lim_{\tau \rightarrow 0} \sum (X_{t_{n+1}} - X_{t_n})^2 / X_{t_n}^2$ où τ est le pas de la subdivision de $[0, t]$, la limite étant en probabilité et sous de bonnes hypothèses au sens presque sûr. La volatilité est la racine carrée de la pente de cette fonction croissante.

L'ordre de grandeur de σ dépend de la nature du sous-jacent et des circonstances : dans les marchés d'action il varie grosso modo entre 20 et 70 %, dans les marchés de change entre 5 et 40 %, dans les marchés de taux d'intérêt entre disons 4 et 40 %, il peut dépasser 100% dans certains cas généralement transitoires.

Comme l'agitation des cours résulte de la diversité des points de vue des acteurs sur le marché qui assignent des lois de probabilités différentes à l'évolution tendancielle, la volatilité exprime une grandeur pluri-interprétative impossible à relier fonctionnellement à des indicateurs quantifiés. Elle est typiquement "l'émotion des marchés" que nous servent les rubriques économiques des médias (particulièrement depuis que les obligations émises par les Etats sont cotées sur le marché international des créances).

Le plus souvent dans la littérature volatilité ne veut guère dire que "agitation". Dans tout l'ouvrage de Robert J. Shiller *Market Volatility*⁵³ celle-ci est pensée comme la *variance* du cours sur une période de temps. Ceci se raccorde à la formule ci-dessus par l'usage d'estimateurs tels que le Chi2 ou de régressions.

Le thème principal de cet ouvrage de Shiller est d'étudier l'excès de volatilité (excess volatility). Dans quels cas peut-on dire que — je cite — "si l'agitation du prix était diminuée, en un sens à définir, de sorte que le prix varie moins, alors il fournirait une meilleure prévision des fondamentaux"⁵⁴. L'auteur de cet ouvrage a été désigné lauréat du prix de la Banque de Suède, appelé prix Nobel d'économie. Je suis désolé de prendre ici une position qui semble provocatrice devant la respectabilité de ces instances, mais je dois témoigner que le style de Shiller est essentiellement littéraire. Le terme de martingale ou de semi-martingale n'est pas même

mentionné, au point que je me demande si Robert Shiller avait vraiment pris la mesure de l'importance de la théorie de l'arbitrage, à cette époque.

Je défends exactement la thèse opposée, à savoir que les fondamentaux sont subjectifs au regard de la logique des marchés financiers. J'ai développé l'opposition de ces deux rationalités — financière et de politique économique — et ses conséquences dans mon livre *Martingales et marchés financiers*⁵⁵ ainsi que dans quelques articles.

Cet auteur imagine un marché — du type des marchés financiers pourvus de ses produits à terme — qui fournisse une "bonne prévision des fondamentaux". Mais le cours actualisé ne peut avoir de tendance objective, sinon un profit sans risque serait possible, qui créerait immédiatement une modification du cours (en outre l'actualisation présente en elle-même un certain aléa). Que la volatilité soit forte ou modérée, un cours qui rend de "bons services" sur les fondamentaux ne peut exister sur les marchés financiers. La défense de ce mythe se prolonge encore aujourd'hui, c'est un enjeu politique.

La volatilité est pratiquement engendrée par les avis différents. L'incertitude ne conduit pas les agents à repousser à plus tard leurs transactions (*wait and see*) — ce qui diminuerait la liquidité des marchés — mais pour les uns à vendre pour se défaire de ce risque, pour les autres à profiter de cette offre, d'où l'agitation. A moins que l'incertitude soit d'un ordre de grandeur tel que les acteurs préfèrent abandonner le marché et risquer ailleurs, et alors la cotation s'effondre.

A-2. *L'apparent paradoxe de la spéculabilité*

Comment se fait-il qu'il y ait de la spéculation sur les marchés alors que les tendances ne sont pas visibles ?

C'est une question que le public ne comprend guère et qu'il est important de clarifier ici. On peut schématiser l'idée populaire de la façon suivante : Si on engage sa voiture dans un chemin plein de cahots, et qu'on a une bonne suspension, on sentira tout de même que la voie monte ou qu'elle descend ! Les amortisseurs des véhicules utilisent la viscosité des liquides. Sur le signal cela réalise une moyenne mobile ou convolution. Les signaux se rangent alors dans deux catégories. Ceux pour lesquels cette régularisation permet de déceler la tendance, c'est le cas d'une route en mauvais état ou pavée, l'irrégularité, — le bruit — n'est pas d'un degré tel qu'on ne puisse pas redessiner la ligne qu'aurait suivi le signal non perturbé, c'est-à-dire la route en bon état. En revanche pour les signaux très aléatoires comme ceux fournis par les marchés financiers fluides, on n'est plus dans cette catégorie, la moyenne mobile ne permet aucune prévision précise.

Supposons une roulette qui ne soit pas bien équilibrée et que les numéros de 19 à 36 tombent un peu plus souvent que ceux de 1 à 18. On dira que le cours du marché monte si le résultat est de 19 à 36 et qu'il descend si c'est de 1 à 18. Dans ces conditions si on observe les résultats sur une dizaine ou une vingtaine de parties et si c'est notre seule information, nous ne pouvons pas savoir si la roulette est biaisée vers le haut ou vers le bas. Si nous observons les résultats depuis très longtemps, la loi des grands nombres et le théorème de limite centrale nous donneront une répartition approximative de la dérive de cette roulette biaisée, dont la fourchette se resserrera d'autant plus que nous irons loin vers le passé. Mais quelle est la signification d'aller loin vers le passé pour prévoir une tendance instantanée, le biais de la roulette est-il constant, on ne le sait pas.

La pensée néoclassique est si attractive que beaucoup d'économistes voient partout des "presqu'équilibres" comme notre voiture bien suspendue. Par exemple deux chercheurs écrivent à propos du prix du pétrole "Plus le prix s'écarte de sa valeur d'équilibre de long terme plus les fondamentalistes vont s'activer. Leurs ordres vont ramener les prix vers des valeurs mieux fondamentalement justifiées. Toutefois, si le prix est proche de sa valeur fondamentale, l'impact des fondamentalistes sur le marché est relativement faible"⁵⁶, en pensant à une telle stationnarité — agitée mais avec une force de rappel — ils omettent que le comportement peut fort bien être du type "martingale positive tendant vers zéro", sans aucune force de rappel, avec des oscillations de plus en plus vives jusqu'à ce qu'on s'approche tellement de zéro qu'on ne se réveille plus.

Le second niveau de la question est de savoir si les produits dérivés ne renseignent pas sur les évolutions du marché. Puisqu'ils sont cotés sur les marchés dérivés, leur cote indique une évolution future probable. Par exemple si on regarde le prix d'un call à la monnaie et s'il est au dessus de sa valeur théorique c'est que le marché estime que le sous-jacent va monter.

Il y a deux volets de réponse à cette remarque. D'abord intuitivement : le marché ne dit rien de clair. Il y a beaucoup d'agitation, l'expression "à la monnaie" signifie que le prix d'exercice du *call* est la valeur actuelle du spot, mais le spot bouge... et la valeur de marché du *call* lui-même est agitée. Ensuite plus théoriquement : ce que dit la théorie de l'arbitrage, qui n'est pas autre chose que l'application cohérente de raisonnements logiques à des situations de spéculation, c'est qu'il n'est pas possible de réaliser un profit certain. Elle n'interdit pas des profits incertains, mais elle donne une règle importante à ce sujet : si nous nous plaçons sous une loi de probabilité où le cours a une certaine tendance (notre conviction) et si nous utilisons cette loi pour gérer des produits à terme dérivés, nous prenons un risque supplémentaire. En prenant de tels risques nous pouvons faire des profits, mais nous pouvons perdre aussi.

Les produits dérivés permettent de *prendre une position* vis à vis du marché. C'est à dire constituer un portefeuille qui va être bénéficiaire si telle évolution se produit. Ceci peut même être fait de façon très précise et circonstanciée. Avec des combinaisons d'options vanille à des échéances différentes on peut prendre une position que le cours sera plus élevé dans trois mois mais plus bas dans six mois et de nouveau plus élevé dans 12 mois. Le marché ne répondra que plus tard. Et sa réponse ne sera qu'un des tirages d'une loi de probabilité. Acheter le sous-jacent pour le revendre ou acheter des produits dérivés, c'est prendre une position c'est-à-dire spéculer. Cela veut dire prendre des risques.

Un article de Grossman et Stiglitz de 1990 était entièrement consacré à cette question : les marchés compétitifs peuvent-ils empêcher les spéculations profitables ?⁵⁷ Certainement pas, répondent-ils, car la spéculation qui les maintient en équilibre est coûteuse (elle prend du temps et donc des salaires) et elle n'aurait pas lieu si elle n'était pas rémunérée : ce sont les spéculateurs qui modifient le marché en rendant la spéculation impossible donc les marchés autorisent forcément une certaine spéculation.

La réalité est qu'il existe des équipes dans le monde entier qui consacrent leur temps à scruter tous les défauts du marché dont on pourrait tirer profit. Avec tous les moyens de l'analyse statistique puissante que permet l'informatique contemporaine, ils traquent les comportements — souvent inconscients — des traders pour en profiter. Ils sont très nombreux à travailler à cela c'est ce qui fait que l'organisme qui gère le marché peut compter sur toute une armée internationale de "vérificateurs" dont les spéculations contribuent à donner au spot l'allure qu'il doit avoir selon la théorie de l'arbitrage.

L'existence même de ces équipes purement spéculatives avec de gros outils statistiques et beaucoup d'intelligence humaine et artificielle, fait que pour tout un chacun le marché apparaît sans tendance claire ni spéculation possible.

A-3. *Qu'est-ce que spéculer sur les marchés financiers organisés ?*

Les deux principales caractéristiques de ces marchés sont qu'ils permettent des achats et des ventes rapides d'un actif à tout instant et qu'ils sont dotés de produits à terme négociables de la même façon que le cours.

Spéculer a deux significations :

a) D'abord "prendre une position". C'est-à-dire constituer par des achats et des ventes un portefeuille dynamique avec des produits à terme et du sous-jacent en espérant finalement un profit de ces transactions. Un moyen simple aujourd'hui est de se servir de produits dérivés. Par exemple acquérir un call permet un profit si le cours final est supérieur à la valeur d'exercice, c'est une position spéculative à la hausse.

b) Mais, sans produits dérivés, on peut aussi spéculer en achetant et en vendant certaines quantités de l'actif à des instants variés. Il n'est pas nécessaire de choisir ces instants a priori, ils

peuvent dépendre des évolutions que le cours vient de révéler. Alors, si on pense le cours comme un processus stochastique, spéculer en ce sens c'est réaliser une intégrale stochastique d'une quantité choisie (la stratégie) *adaptée* au processus, par rapport au cours. A temps discret

$$\sum_n f(t_n)(X_{t_{n+1}} - X_{t_n})$$

et en temps continu

$$\int_0^t f(s) dX_s$$

où X_t est la valeur du cours à l'instant t , et $f(s)$ un processus aléatoire adapté à la filtration de X_t .

On dit que le marché de cet actif est *stochastiquement complet* si la méthode a) peut toujours se réaliser par la méthode b). C'est le cas si le cours suit un mouvement brownien géométrique, ou, sous des hypothèses assez larges, si on peut le représenter par la solution d'une équation différentielle stochastique markovienne par rapport à un mouvement brownien. D'autres cas sont connus. En revanche cette propriété n'a pas lieu si le cours présente des sauts (cf. Bouleau Lambertson 1989).

A-4. Temps continu vs temps discret.

Pour remplir la fonction de coordination par les prix, les marchés d'actions, de matières premières et de devises pourraient fort bien ne fournir que des cotations hebdomadaires. Nulle part la réalité des échanges et leur contexte ne change si rapidement qu'il faille disposer d'une cotation en continu.

A temps discret on dispose toujours d'une tendance donnée par les deux dernières cotations. Est-ce à dire que cela supprimerait les difficultés que nous avons évoquées ?

Cette tendance observée présentera elle-même une agitation par le même argument que les marchés empêchent les profits sans risque. La théorie de l'arbitrage s'exprime mathématiquement plus facilement en temps continu. Grâce au calcul intégral-différentiel de Itô, on dispose de formules explicites en temps continu qui sont plus combinatoires en temps discret. Mais tous les phénomènes se retrouvent d'un côté comme de l'autre.

En revanche, en ce qui concerne l'émergence et le rôle historique des idées, il est certain que la rencontre des mathématiques stochastiques avec la finance par le papier charnière de Black et Scholes de 1973, puis la redécouverte de la thèse et des ouvrages de Louis Bachelier, et le développement de la théorie moderne de l'arbitrage avec les travaux de Brennan et Schwartz, de Harrison et Pliska, de Merton, etc., s'est faite grâce au temps continu, et que c'est l'analyse stochastique à temps continu qui fit émerger les concepts nouveaux à la base des pratiques financières des salles des marchés aujourd'hui⁵⁸. Au point qu'on est en droit de se demander si les raisonnements avec deux instants comme ceux des théorèmes d'existence d'équilibre, des années 1950-60, étaient capables de faire apparaître les phénomènes que nous observons aujourd'hui (cf. section I-D-b ci-dessus).

En principe toute la phénoménologie à temps continu a sa traduction à temps discret et la théorie de l'arbitrage peut être faite dans les deux présentations. Mais on doit noter que historiquement la couverture par suivi de marché a été découverte d'abord en temps continu et que, par exemple, le papier de Cox-Ross-Rubinstein est postérieur de six ans à celui de Black-Scholes. De sorte que tout porte à croire que les propriétés telles que probabilité risque neutre, prépondérance de la volatilité sur les prix des options, etc., n'avaient pas été imaginées ni envisagées dans les années 1950-60 : La thèse que j'ai présentée plus haut est que l'organisation mondiale des marchés financiers pourvus de leurs dérivés dans les années 1970-80, n'avait pas pris la mesure du bouleversement que constituent le rôle majeur de la volatilité.

¹ Solow R. (1974).

² Sénat, *Rapport d'information* fait au nom de la délégation sénatoriale à la prospective sur "Une crise en quête de fin, Quand l'Histoire bégaie" P.-Y. Collombat, 9 février 2017.

³ C'est le thème principal de la préface des *Eléments d'économie politique pure* et L. Walras l'approfondit à la fin de sa vie dans l'article "Economie et Mécanique" (Walras 1909). Il souligne l'identité formelle des équations de la statique en mécanique et celles de l'équilibre économique en prenant l'exemple des moments des forces agissant sur la balance romaine et la proportionnalité des raretés et des prix. De même dans *The Theory of Political Economy* (1871) Jevons écrit "la théorie que nous exposons peut être décrite comme *la mécanique de l'utilité et de l'intérêt personnel*".

⁴ *Contemplation of the world's disappearing supplies of minerals, forests, and other exhaustible assets has led to demands for regulation of their exploitation. The feeling that these products are now too cheap for the good of future generations, that they are being selfishly exploited at too rapid a rate, and that in consequence of their excessive cheapness they are being produced and consumed wastefully has given rise to the conservation movement.* Il est à noter que jusqu'alors, notamment chez L. C. Gray (Gray 1913), le fait que les ressources sont "pillées" au regard de l'histoire n'est pas perçu comme un problème grâce à une foi solide dans le progrès.

⁵ Hayek F., "The Use of Knowledge in Society" (Hayek 1945).

⁶ Hotelling H. "The economics of exhaustible resources" (Hotelling 1931).

⁷ qui se distingue des approches précédentes purement réflexives telles que celle de L. C. Gray (Gray 1914).

⁸ Voir (Bouleau 2003).

⁹ Cf. E. Pichler *et al.* (2012); sur les ressources renouvelables : cf. R. S. Pindyck (1984).

¹⁰ "to assess whether real-world markets give appropriate signals of resource scarcity and whether the necessary conditions for efficient-resource allocation are met in practice." M. E. Slade "Do Markets Underprice Natural-Resource Commodities?" background paper for the World Development Report WPS 962 Aug. 1992.

¹¹ "since then prices have been increasingly volatile; large run ups have been followed by equally large declines, but there is little evidence of a sustained trend".

¹² S. D. Deshmukh et S. R. Pliska (1985). Ces auteurs développent un modèle dans lequel le prix actualisé est une martingale si et seulement si le temps nécessaire à la découverte de plus de gisement est indépendant du stock de réserves actuel. Mais progressivement, comme nous le verrons, les auteurs sentent la nécessité du langage des processus d'Ito et des semi-martingales pour rendre compte du rôle des marchés.

¹³ Smith V. K. "Natural Resource Scarcity: A Statistical Analysis" *Review of Economics and Statistics*, 61: 423-427(1979)

¹⁴ (Slade 1991). Voir également (Slade Thille 1997) où le prix est supposé un processus d'Ito.

¹⁵ Signalons l'étude de Louis H. Ederington (Ederington *et al.* 2011) pour sa vaste bibliographie et son analyse géopolitique dans le cas du pétrole. Cette synthèse montre que la modélisation stochastique récente est fort diverse, (table 1 page 16) avec des processus d'Ito et des hypothèses sur la volatilité ou même des processus de sauts engendrés par des mesures de Poisson.

¹⁶ Voir Bollen, J., Mao, H. & Zeng, X. J. , "Twitter mood predicts the stock market", *J. of Comp. Sci.* 2, 1-8 (2011); Preis, T., Moat, H. S. & Stanley, H. E., "Quantifying Trading Behavior in Financial Markets Using Google Trends", *Sci. Rep.* 3, 1684 (2013). A côté d'un trading algorithmique grégaire dont on a beaucoup parlé qui ne représente qu'une minorité, se développe des méthodes conditionnelles à certaines situations interprétées en fonction de statistiques de plus en plus documentées. Quant au trading haute fréquence (HFT), plusieurs études empiriques suggèrent qu'il réduit le bid-ask, améliore la fluidité, et serait à même de détecter des anomalies ou des informations pertinentes qui échapperaient aux intervenants en raison des coûts de suivi de marché. Globalement ces méthodes informatiques réduisent les asymétries d'information entre agents et améliorent la conformité des marchés à la théorie stochastique de l'arbitrage. Voir l'ouvrage (Wang Zheng 2014).

¹⁷ Sur la théorie de l'arbitrage citons J.M. Harrison and S. R. Pliska (1981); R.C. Dalang, A. Morton, and W. Willinger (1990); F. Delbaen, W. Schachermayer (2006). Notons que la fumée engendrée par les marchés financiers est de si bonne qualité aléatoire que de nombreux brevets ont été déposés pour utiliser ce hasard à d'autres fins : US20140274323; WO2014127312A1; US20080275824; US20050245308; US20100274702; US20140309014; US20060105840, etc. il ne présente pas de cycles.

¹⁸ Cf. (Fattouh 2007); (Lee *et al.* 2006).

¹⁹ Ce cas est ignoré par la majeure part de la littérature. Les auteurs raisonnent comme si le cas de faible volatilité était le cas général de sorte qu'on puisse retrouver la tendance en appliquant au prix un filtre de Kalman (Pindyck R. S. "The long Run Evolution of Energy Prices" CEEPR Jan. 1999. Citons un article où la convergence de martingales positives vers zéro est étudiée, celui de S. A. Clark, "Bubbles and Capital Formation in a Stochastic Production Model with Infinite Time Horizon" *Emory Univ.* 21 Aug. 2008.

²⁰ Un placement dans un fonds qui rapporte 4,5% où les dividendes sont réinvestis en permanence, réalise une croissance exponentielle. Si, en plus, de l'incertitude vient ajouter de la volatilité et que cette volatilité dépasse 0,3 les

oscillations sont telles qu'à la longue le capital s'effrite jusqu'à la ruine. Par exemple, imaginons un économiste amateur qui satisfait une pulsion pour le jeu en fréquentant une fois par an le casino, mais qui, par prudence, a placé sa fortune à 10% annuellement et qui, par prudence également, ne joue chaque année que la moitié de sa fortune sur "pair". Dans ces conditions l'effet cumulé de son placement et de son jeu, pourtant équitable, fait tendre sa fortune vers zéro. Et ce résultat serait encore vrai si son argent était placé à 15% annuellement, mais il en irait autrement s'il était placé à 16% auquel cas il s'enrichirait de plus en plus malgré les oscillations.

²¹ La forte volatilité induit des comportements nouveaux de stockage ou au contraire de production plus immédiate à cause de l'incertitude sur la valeur future des réserves non encore exploitées, cette contradiction a tendance à nourrir la volatilité Cf. R. S. Pindyck "Volatility in Natural Gas and Oil Markets", CEEPR, June 2003

²² Le cas des semi-martingales positives qui tendent vers zéro n'est pas la seule phénoménologie de crise qui peut résulter de la croissance de la volatilité, il peut se faire aussi que les amplitudes de variation du prix augmentent au delà de toute limite en un temps fini, empêchant l'organisme organisateur du marché de continuer la cotation, comme la dynamique modélisée par l'équation $dX_t = X_t^\alpha \sigma dB_t + X_t \alpha dt$, avec $\alpha > 1$.

²³ (Gerlach *et al.* 2006).

²⁴ Cf. (FMI 2014).

²⁵ H. Kristoffersen, directeur de la stratégie, "Les enjeux de la volatilité du pétrole et du gaz", 28 août 2013.

²⁶ Cf. (Hommes *et al.* 2007); (Gürkaynak 2008); (Farhi Tirole 2009); (Kamihigashi 2007).

²⁷ (Schönbucher 1998).

²⁸ (Krugman Wells 2016).

²⁹ L. Walras «*Œuvres diverses*», in: *Auguste et Léon Walras œuvres économiques complètes, Vol XIII*, édité par Dockès P., Mouchot C. et Potier J.-P., Economica 2000 p567.

³⁰ Cf (Ramey Ramey 1991).

³¹ S. Spratt, "Food price volatility and financial speculation" Inst. of Development Studies, Univ of Sussex, Jan 2013.

³² Cf. (Chiroleu-Assouline 2011).

³³ (Black Scholes 1973).

³⁴ Citons parmi les plus récents : (Lamberton Lapeyre 2007), (Ross 2011), (Hull 2012), (Davis Duffie Fleming Shreve 2013), (Bouleau 2003), (Di Nunno Oksendal 2011), (Cont Tankov 2004), (Karatzas Shreve 2010), (Delbaen Schachermayer 2006), (Bjork 2009), (Roman 2012), (Campolieti Makarov 2014).

³⁵ (Guesnerie 1996).

³⁶ Il est courant en théorie des jeux que la stratégie gagnante est celle qui suit un principe stratégique pendant toute la partie et change de méthode juste avant la fin. C'est le cas par exemple dans le jeu de Marienbad.

³⁷ *Séminaire XXII*, 18-3-1975.

³⁸ Sigmund Freud *Œuvres complètes XIX* PUF 1995, p 336.

³⁹ De même les banques de détail utilisent maintenant les *big data* pour connaître la valeur du patrimoine et des revenus d'un emprunteur afin de lui proposer un taux qui "correspondent aux risques".

⁴⁰ La signification des notes des dettes souveraines, leurs conséquences sur la politique des Etats est évidemment beaucoup plus complexe que la vision de base de l'épargnant. Au demeurant nous pouvons noter que l'échelle discrète et à grandes mailles des notations données par les agences contribuent à maintenir une vision homothétique parce que les notes ne sont modifiées que pour des événements graves (comme le Brexit pour le Royaume Uni) et reste constantes le plus souvent.

⁴¹ Encore aujourd'hui le même argument dont s'était servi W. Nordhaus pour critiquer les conclusions du Club de Rome — à savoir qu'elles ne tenaient pas assez compte du progrès technique — est toujours employé parce que la situation est similaire : les incertitudes sur l'évolution physique due au changement climatique sont à mettre en face des incertitudes sur l'innovation technique, donc on ne peut conclure.

⁴² J. Schumpeter a fait remarquer que les règles prudentielles peuvent aussi être la justification de prises de risques "les automobiles parce qu'elles sont munies de freins roulent plus vite que si elles en étaient dépourvues." *Capitalisme, socialisme et démocratie*, Payot 1951.

⁴³ intervention au colloque *Assessing and managing climate-related financial risks : the frontier of knowledge* Université Paris Dauphine 16 déc. 2016.

⁴⁴ "The same considerations suggest that the market for exhaustible resources might be one of the places in the economy where some sort of organized indicative planning could play a constructive role. This is not an endorsement of centralized decision making, which is likely to have imperfections and externalities of its own. Indeed it might be enough to have the government engaged in a continuous program of information-gathering and dissemination covering trends in technology, reserves and demand. One could at least hope to have professional standards govern such an exercise. I take it that the underlying logic of indicative planning is that some comparison and coordination of the main participants in the market, including the government, could eliminate major errors and resolve much uncertainty. In the case of exhaustible resources, it could have the additional purpose of generating a set of consistent expectations about the distant future."

⁴⁵ (Meadows *et al.* 2004).

⁴⁶ Sur les indicateurs nous renvoyons aux articles de D. Couvet, de N. Gondran et de G. Thiry, au chapitre 12 de *L'âge de la transition*, Institut Veblen et Les petits matins 2016.

⁴⁷ Cf. (Bouleau 2014).

⁴⁸ Cf. Gabrielle Bouleau (2012). Voir également tous les articles du numéro thématique de *Vertigo* "La trajectoire politique des indicateurs écologiques" Volume 16 n°2 sept. 2016.

⁴⁹ Cf. <http://www.totnesinformation.co.uk/> et https://fr.wikipedia.org/wiki/Ville_en_transition

⁵⁰ Cf. <http://www.terraeco.net/Comment-une-usine-d-enveloppes-est,58737.html>

⁵¹ Cf. <http://yonnelaure.fr/spip.php?article8807>

⁵² Mentionnons le site <https://www.colibris-lemouvement.org/>

⁵³ MIT Press 1989.

⁵⁴ "if the price movements were rescaled down in some sense to be defined, so as to be less variable, then price would do a better job of forecasting fundamentals".

⁵⁵ Odile Jacob 1998, prix Turgot du meilleur livre d'économie financière 1998, prix Fnac 2000 du livre d'entreprise, nouvelle édition augmentée *Mathématiques et risques financiers*, O. Jacob 2009. On pourra également se reporter à l'article "Finance et opinion" *Esprit* nov. 1998.

⁵⁶ (Reitz Slopek 2009).

⁵⁷ (Grossman Stiglitz 1980).

⁵⁸ Cette rupture historique est très apparente sur la courbe d'usage du terme "volatility" à partir de 1975 sur le logiciel Ngram Viewer de Google.

Références

- Ayel G. et al. *Les stocks alimentaires et la régulation de la volatilité des marchés en Afrique*, AFD 2013.
- Arbulu P., "La bourse de Paris au XIXe siècle : l'exemple d'un marché émergent devenu efficient" *Revue d'économie financière* 49, 213-249, 1998.
- Arrow K., "Le rôle des valeurs boursières pour la répartition la meilleure des risques" *Econométrie Coll. Int. CNRS* 1952, 40, 41-47, discussion 47-48, CNRS 1953.
- Arrow K., Debreu G. "Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy" *Econometrica* 22, n°3, 1954.
- Baumeister, C., Peersman, G., 2009, Sources of the Crude Oil Market Volatility Puzzle, Working Paper, Bank of Canada and Ghent University.
- Beacco J.-M., Hubaud B., *Titrisation, maillon clé du financement de l'économie* Eyrolles, RB éd. 2013.
- Bjork T., *Arbitrage Theory in Continuous Time* Oxford Univ. Press 2009.
- Black F., Scholes M., 1973. 'The pricing of options and corporate liabilities.' *Journal of Political Economy* 81:637-654.
- Böheim M., Firgo M., Pichler E., "The Role of Financial Speculation on Markets for Industrial Metals", Working Papers WU-Wien sept. 2012.
- Bouleau G., "Ce que nous apprend l'histoire des indicateurs environnementaux", *Revue Forestière Française* n°5, 645-652, (2012).
- Bouleau G. et Deuffic Ph., "Qu'y a-t-il de politique dans les indicateurs écologiques?" *VertigO* Vol. 16 n°2 sept. 2016.
- Bouleau N., *Financial Markets and Martingales: Observations on Science and Speculation*, Springer 2003.
- Bouleau N., *Error Calculus for Finance and Physics, the Language of Dirichlet Forms* De Gruyter 2003.
- Bouleau N., *Mathématiques et risques financiers*, O. Jacob, 2009.
- Bouleau N., "Une pensée devenue Monde" *Esprit* nov. 2009, p130-146.
- Bouleau N., "Un, deux, trois, soleil" *Esprit* déc. 2009, p85-104.
- Bouleau N., "On Excessive Mathematization, Symptoms, Diagnosis and Philosophical bases for Real World Knowledge " *Real World Economics*. n 57, 6 September 2011, 90-105.
- Bouleau N., "Limits to Growth and Stochastics" *Real World Economics*. n°60, 20 June 2012, 92-106.
- Bouleau N., *La modélisation critique*, Quae 2014.
- Bouleau N., *Penser l'éventuel, faire entrer les craintes dans le travail scientifique*, Quae 2017.
- Bouleau N., Lambertson D. "Residual risks and hedging strategies in Markovian markets", *Stochastic processes and their applications* 33,131-150, (1989).
- Campolieti G., Makarov R., *Financial Mathematics: A Comprehensive Treatment* Chapman and Hall 2014.
- Capelle-Blancard G., Couppey-Soubeyran J., "L'intégration des marchés boursiers" *Questions internationales* n°34 La Doc. Française 2008.
- Chiroleu-Assouline M., "La fiscalité environnementale, instrument économique par excellence", *Revue Française de finances publiques*, 114, p17-25 (2011).
- Clark S. A., "Bubbles and Capital Formation in a Stochastic Production Model with Infinite Time Horizon" *Emory Univ.* 21 Aug. 2008.
- Colliard J.-E., Hoffmann P., "Taxes sur les transactions financières : Théorie, expériences et implémentation" *Opinions et Débats* n°9, ILB fév. 2015.
- Cont R., Tankov P., *Financial Modelling with Jump Processes*, Chapman and Hall 2004.
- Cox J. C., Ross S. A., Rubinstein M., "Option pricing : a Simplified Approach" *J. of Financial Economics*, 7 (1979), 229-263.
- Dalang R.C., A. Morton, and W. Willinger, Equivalent martingale measures and no-arbitrage in stochastic securities market model, *Stochastics and Stochastic Reports* 29, 185-201, (1990).
- Dana R.-A., Jeanblanc M., *Marchés Financiers en Temps Continu, valorisation et équilibre*, Economica 1994.
- Dana R.-A., Jeanblanc M., Kennedy A., *Financial Markets in Continuous Time*, Springer 2002.
- Dasgupta P.S. and G.M. Heal, *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge: University Press, 1979
- Davis M., Duffie D., Fleming W. H., Shreve St., *Mathematical Finance* Springer 2013.
- Debreu G. "A social equilibrium existence theorem" *Proc. Nat. Acad. of Sciences*, 38, 886-893, 1952.
- Debreu G. "Market equilibrium" *Proc. Nat. Acad. of Sciences*, 42, 876-878, 1956.
- Debreu G., *Théorie de la valeur*, Dunod 1959.
- Delbaen F., Schachermayer W. *The mathematics of arbitrage* Springer 2006.
- Deshmukh S., Pliska St., "A martingale Characterization of the Price of a Nonrenewable Resource with Decision Involving Uncertainty" *J. of Economy Theory* 35, 322-342, (1985)
- Di Nunno G., Oksendal B., *Advanced Mathematical Methods for Finance*, Springer 2011.
- Diamond J. *Effondrement, comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie*, Gallimard 2006.
- Dockès P., Mouchot C. et Potier J.-P., L. Walras «Œuvres diverses», in: *Auguste et Léon Walras œuvres économiques complètes, Vol XIII*, édité par Economica p567, 2000.
- Dupuy J.-P., *Pour un catastrophisme éclairé, quand l'impossible est certain*, Seuil 2002.

- Dupuy J.-P. , "Le temps, le paradoxe", in *Déterminismes et complexités : du physique à l'éthique*, La Découverte, 2008, p. 321-334.
- Dupuy J.-P., "Le Futur bifurque-t-il ? Vers une nouvelle science du futur. A la recherche d'une éthique du futur", in *Bifurcations*, La Découverte, 2009, p. 373-386.
- Dupuy J.-P. "Faire comme si le pire était inévitable" in *Où va le monde*, Mille et une Nuits 2012.
- Ederington L. H., Fernano Ch. S., Lee Th. L., Linn S. C., May D., " Factors Influencing Oil Prices: A Survey of the Current State of Knowledge in the Context of the 2007-08 Oil Price Volatility" Working Paper Series, U.S. Energy Information Administration, 2011.
- Ekeland I., *Le syndrome de la grenouille, l'économie et le climat*, O. Jacob 2015.
- El Karoui N., Loisel St., Prigent J.-L., Vedani J., "Market inconsistencies of the market-consistent European life insurance economic valuations: pitfalls and practical solutions" hal-01242023, 2015.
- Elliott R. J., Kopp P. E. *Mathematics of Financial Markets* Springer 1999.
- Farhi E., Tirole J., "Bubbly Liquidity" 20 Oct. 2009.
- Fattouh B., "The Drivers of Oil Prices:The Usefulness and Limitations of Non- Structural Model, the Demand-Supply Framework and Informal Approaches" Univ. of London mars 2007.
- FMI *Global Financial Stability Reports* Oct. 2012, Oct. 2013, April 2014.
- Gerlach S., S. Ramaswamy, M. Scatigna, "150 years of financial market volatility" *BIS Quarterly Review*, Sept. 2006.
- Giraud G., *Illusion financière*, Les éditions de l'atelier 2012.
- Giraud G., Renouard C., *Le facteur 12 Carnets Nord* 2012.
- Gray L. C., "The Economic Possibilities of Conservation" *The Quarterly J. of Economics*, Vol. 27, No. 3 (1913).
- Gray L. C. "Rent Under the Assumption of Exhaustibility" *The Quarterly J. of Economics*, Vol. 28, No. 3 (1914).
- Grossman S. J., Stiglitz J. E., "On the Impossibility of Informationally Efficient Markets" *The American Economic Review* Vol. 70, No. 3 (Jun., 1980), pp. 393-408.
- Guesnerie R., *L'économie de marché* Le Pommier poche 2006; *Pour une politique climatique globale, blocages et ouverture*, Editions rue d'Ulm 2010.
- Guesnerie R., Stern N., *Deux économistes face aux enjeux climatiques*, Le Pommier 2013.
- Guerrien B., *Dictionnaire d'analyse économique*, La Découverte 1996.
- Gürkaynak R. S. "Economic Tests of Asset Prices Bubbles: Taking Stock" *J. of Economic Surveys* Vol. 22, No. 1, pp. 166-186, (2008).
- Harrison J.M. and S. R. Pliska, Martingales and stochastic integrals in the theory of continuous trading, *Stochastic Processes and their Applications* 11, 215-260, (1981).
- Hayek F., "The Use of Knowledge in Society" *The Amer. Economic Review*, XXXV, n4, 519-530, 1945.
- Hayek F., "La Falsification de la science" Conférence à la mémoire d'Alfred Nobel, le 11 Décembre 1974.
- Hirshleifer J. "Speculation and Equilibrium: Information, Risk, and Markets." *Quarterly Journal of Economics* 89 (Nov. 1975), 519-42.
- Hirshleifer J. "Liquidity, Uncertainty and the Accumulation of Information". In C. F. Carter and L. J. Ford, (eds.), *Uncertainty and Expectations in Economics*. Oxford: Blackwell, 1972.
- Hommes C., Sonnemansy J., Tuinstra J., van de Velden H., "Expectations and Bubbles in Asset Pricing Experiments" Univ. Amsterdam Feb. 2007.
- Horan, S. M., Peterson, J. H., Mahar, J., 2004. Implied Volatility of Oil Futures Options Surrounding OPEC Meetings, *Energy Journal* 25, 103-125.
- Hotelling H., "The Economics of Exhaustible resources", *J. of Political Economy* Vol 39, n2, 137-175, 1931.
- Hull J. *Options, Futures and Other Derivatives* Pearson 2012.
- Jevons St., *The Theory of Political Economy* (1871).
- Jouini E., "Perception, risque et décision de long terme" *Opinions et Débats* n°10, ILB 2015.
- Kamihigashi T., "The Spirit of Capitalism, Stock Market Bubbles, and Output Fluctuations" 5 Oct. 2007.
- Karatzas I., Shreve E. *Methods of Mathematical Finance*, Springer 2010.
- Kemp M. C. and N. V. Long (eds.), *Exhaustible Resources, Optimality, and Trade*, Amsterdam, New York, Oxford: North Holland Publishing Company, 1980.
- Kronenberg T., "Should we worry about the failure of the Hotelling rule ?" doi: 10.1111/j.1467-6419.2008.00549.x (2008).
- Krugman P., R. Wells, *Microéconomie* De Boeck 2016.
- Lamberton D., Lapeyre B., *Introduction to Stochastic Calculus Applied to Finance*, Chapman and Hall 2007.
- Lee, J., List, J.A. and Strazicich, M.C. "Non-renewable resource prices: Deterministic or stochastic trends?" *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(3), pp. 354-370, (2006).
- Leroy St. "Expectations Models of Asset Prices: A Survey of Theory" *The Journal of Finance*, Vol. 37, No. 1 (Mar., 1982), pp. 185-217
- Lin C.-Y, Wagner G., "Steady-state growth in a Hotelling model of resource extraction" *Journal of Environmental Economics and Management*, DOI: 10.1016/j.jeem.2006.12.001, 2007.
- Lund D., Nymoen R. "Comparative statics for real options on oil: What stylized facts to use?" Department of Economics, University of Oslo, No. 14/2013, 2013.
- Lubochinsky C., "Transfert du risque de crédit : de l'ingéniosité bancaire à l'instabilité financière" *Revue d'économie*

- financière* hors série Risques 2008, 101-105.
- Lubochinsky C., "Dérivés, titrisation et effet de levier : quel avenir" *Les cahiers du cercle des économistes*, PUF 2009.
- Meadows D., Randers J., Meadows D., *Limits to Growth, The 30-Year Update*, Earthscan 2004.
- Morin E., "Le probable et l'incertain" revue *Nouvelles clés*, n°43, 2004.
- Nguyen H. T., Pham T. D., "On the law of Large Numbers for Continuous Time Martingales and Application to Statistics", *Stochastica*, vol VI, n°1, 1982.
- Pearson K., *The History of Statistics in the 17th & 18th Centuries*, Ch. Griffin & Co 1978.
- Pichler E., Böheim M., Firgo M., "The Role of Financial Speculation on Markets for Industrial Metals" FMMI, MMI NÖ, sept 2012.
- Pindyck R. S., 1980 "The Optimal Production of an Exhaustible Resource When Price is Exogenous and Stochastic" WP 1162-80.
- Pindyck R. S., 1984, "Uncertainty in the Theory of Renewable Resource Markets" *Revue of Economic Studies* 289-303.
- Pindyck R. S., 2004, "Volatility and Commodity Price Dynamics", *Journal of Futures Markets* 24, 1029–1047.
- Portait R., Poncet P., *Finance de marché*, Dalloz 2008.
- Spratt S., "Food price volatility and financial speculation" Inst. of Development Studies, Univ of Sussex, Jan 2013.
- Radner R., "Existence of equilibrium of plans, Prices and Price Expectations in a Sequence of Markets" *Econometrica* 40, 289-303, 1972.
- Ramey G., Ramey G. A. "Technology commitment and economic fluctuations" *Nat. Bureau of Economic Research*, June 1991.
- Ramsey F. P., "A Mathematical Theory of Saving" *The Economic Journal*, Vol. 38, No. 152, 543-559 (1928).
- Rawls J., *Political Liberalism*, Columbia Univ. Press 1993.
- Reeves H., *Là où croît le péril... croît aussi ce qui sauve*, Seuil 2013.
- Reitz S., U. Slopek, « Non-Linear Oil Price Dynamics: A Tale of Heterogeneous Speculators ? », *German Economic Review*, vol. 10, n° 3, pp. 270-283 (2009).
- Revuz D., Yor M., *Continuous Martingales and Brownian Motion*, Springer 1994.
- Roman St., *Introduction to the Mathematics of Finance: Arbitrage and Option Pricing* Springer 2012.
- Ross Sh., *An Elementary Introduction to Mathematical Finance*, Cambridge Univ. Press 2011.
- Schönbucher P. J., "A Market Model for Stochastic Implied Volatility" *Bonn Univ.* June 1998.
- Schulmeister S., "Une Taxe Générale sur les Transactions Financières : un bilan des avantages, des inconvénients, et une proposition" WIFO Working Papers, No. 344, Oct. 2009.
- Shiller R. J. *Market Volatility* The MIT Press 1989.
- Sinn H.-W., "The Theory of Exhaustible Resources" *Zeitschrift für Nationalökonomie*, Vol. 41 (1981), No. 1-2, pp. 183-192.
- Slade M. E. "Market structure, marketing method, and price instability" *Quarterly J. of Economics* Vol. 106, No. 4, pp. 1309-1340 (1991).
- Slade M., "Do Markets Underprice Natural-Resource Commodities" *Working Papers, World Bank* 1992.
- Slade M., Thille H. "Hotelling Confronts CAPM: A Test of the Theory of Exhaustible Resources" *The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economie*, Vol. 30, No. 3 (Aug., 1997), pp. 685-708.
- Slade M., Thille H. "Whither Hotelling: Tests of the Theory of Exhaustible Resources" *Annual Review of Resource Economics* Vol. 1: 239-260 (2009).
- Smith, J. L., 2009, World Oil: Market or Mayhem? *Journal of Economic Perspectives* 23, 145-164.
- Smith V. K. "Natural Resource Scarcity: A Statistical Analysis" *R. of Economics and Statistics*, 61: 423-427 (1979)
- Solow R., "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, No. 1, pp. 65–94, 1956.
- Solow R., "The Economics of Resources or the Resources of Economics" *The Amer. Economic Review*, Vol. 64, No. 2, (May, 1974), pp. 1-14.
- Tobin J., "A Proposal for International Monetary Reform" *Easter Economic J.* 4(3-4), 153-159, 1978.
- Walras L., "Economie et Mécanique" *Bull. Soc. Vaudoise de Sc. Naturelles*, Vol 45, 313-325, (1909)
- Wang, Z., & Zheng, W. *High-frequency trading and probability theory*. World Scientific, (2014).
- Weinstein, M.C. and Zeckhauser, R.J. (1975) The optimal consumption of depletable natural resources. *Quarterly Journal of Economics* 89: 371–392.